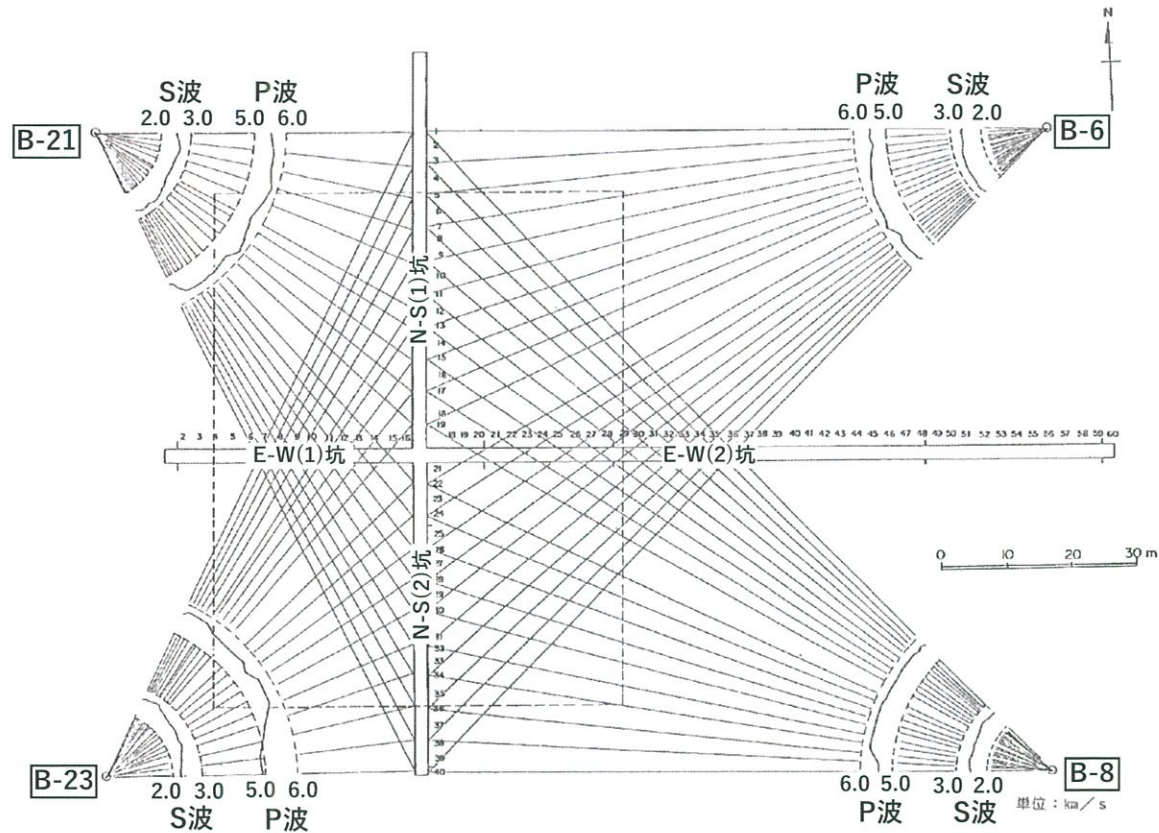


I 級岩盤の動的変形特性 (10)

【結果④】 ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査

ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査の結果、弾性波平均速度はP波が約5.5km/s、S波が約2.5km/sである。

また、各受振点で得られたP波およびS波速度は、試掘坑の坑道間における弾性波探査と同様に方向による顕著な差は認められない。



ボーリング孔と試掘坑道間
における弾性波平均速度は
P波：約 5.5km/s
S波：約 2.5km/s

I 級岩盤の動的変形特性 (11)

【速度構造に関する調査結果のまとめ】

試掘坑およびボーリング孔より，【PS検層】，【試掘坑道沿いの弾性波探査】，【試掘坑の坑道間における弾性波探査】，【ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査】を実施し，敷地に広く分布する塩基性片岩の速度構造を把握。

その結果，水平方向，鉛直方向の速度構造に顕著な差異が認められないことから，敷地を代表する塩基性片岩の速度構造は，有意な異方性はないとして評価。

速度構造確認のための各種試験結果

	弾性波平均速度		備 考
	P波(km/s)	S波(km/s)	
PS検層	5.4	2.7	片理面と直交する方向の速度構造に関する調査
試掘坑道沿いの弾性波探査	5.3	2.6	片理面に沿う方向の速度構造に関する調査
試掘坑の坑道間における弾性波探査	5.4	2.7	各方向(東西南北)の速度構造に関する調査
ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査	5.5	2.5	

II 級岩盤の動的変形特性 (1)

3号炉増設時の安全審査において実施した弾性波探査等から動的変形特性を設定。

動的変形特性に関する調査項目

- ・ ボーリング孔内PS検層

① 動弾性係数

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

$$= (\gamma/g) \cdot V_s^2$$

$$E = 2 \cdot (1 + \nu_d) \cdot G$$

- γ : 単位体積重量
- g : 重力加速度
- V_p : 弾性波速度
- V_s : せん断弾性波速度
- ν_d : 動的ポアソン比

② 動的ポアソン比

$$\nu_d = 1/2 \cdot \{(V_p/V_s)^2 - 2\} / \{(V_p/V_s)^2 - 1\}$$

③ 減衰定数

一般的な値を設定。

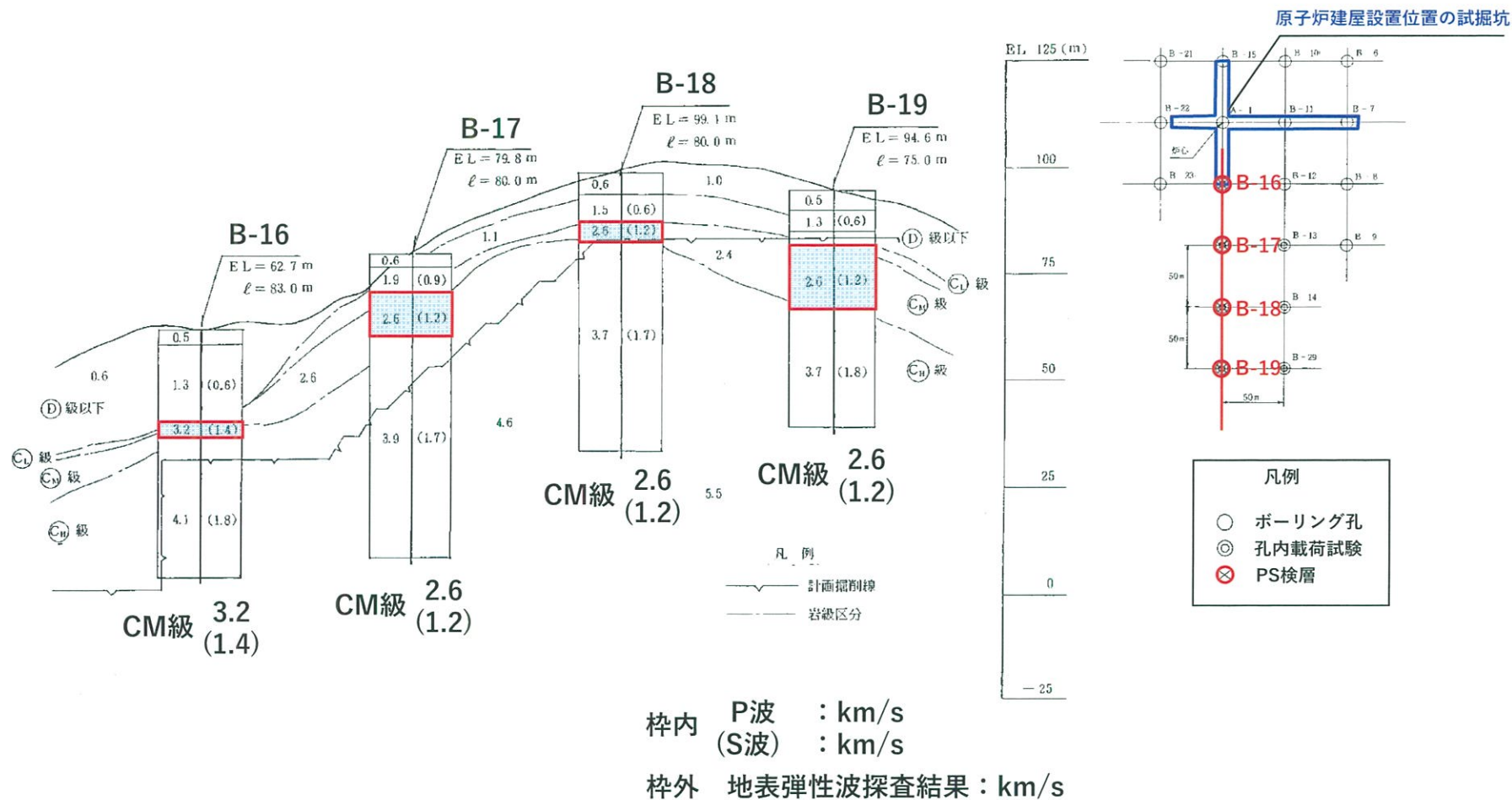
【II 級岩盤の動的変形特性】

解析用 岩盤分類	弾性波速度		単位体積重量 γ (kN/m ³)	G (kN/m ²)	E (kN/m ²)	ν_d	h (%)
	V_p	V_s					
II 級	2.6	1.2	27.5	4.03×10^6	10.8×10^6	0.36	3.0

II 級岩盤の動的変形特性 (2)

【結果】 PS検層

斜面部のボーリング孔で実施したPS検層の結果を示す。
CM級岩盤の弾性波速度は、P波が約2.6km/s、S波が約1.2km/sである。



III級岩盤①(CL級岩盤)の動的変形特性 (1)

3号炉増設時の安全審査において実施した弾性波探査等から動的変形特性を設定。

動的変形特性に関する調査項目

- ・ボーリング孔内PS検層

① 動弾性係数

$$G = \rho \cdot Vs^2 = (\gamma/g) \cdot Vs^2 \quad E = 2 \cdot (1 + \nu_d) \cdot G$$

- γ : 単位体積重量
- g : 重力加速度
- Vp : 弾性波速度
- Vs : せん断弾性波速度
- ν_d : 動的ポアソン比

② 動的ポアソン比

$$\nu_d = 1/2 \cdot \{(Vp/Vs)^2 - 2\} / \{(Vp/Vs)^2 - 1\}$$

③ 減衰定数

一般的な値を設定。

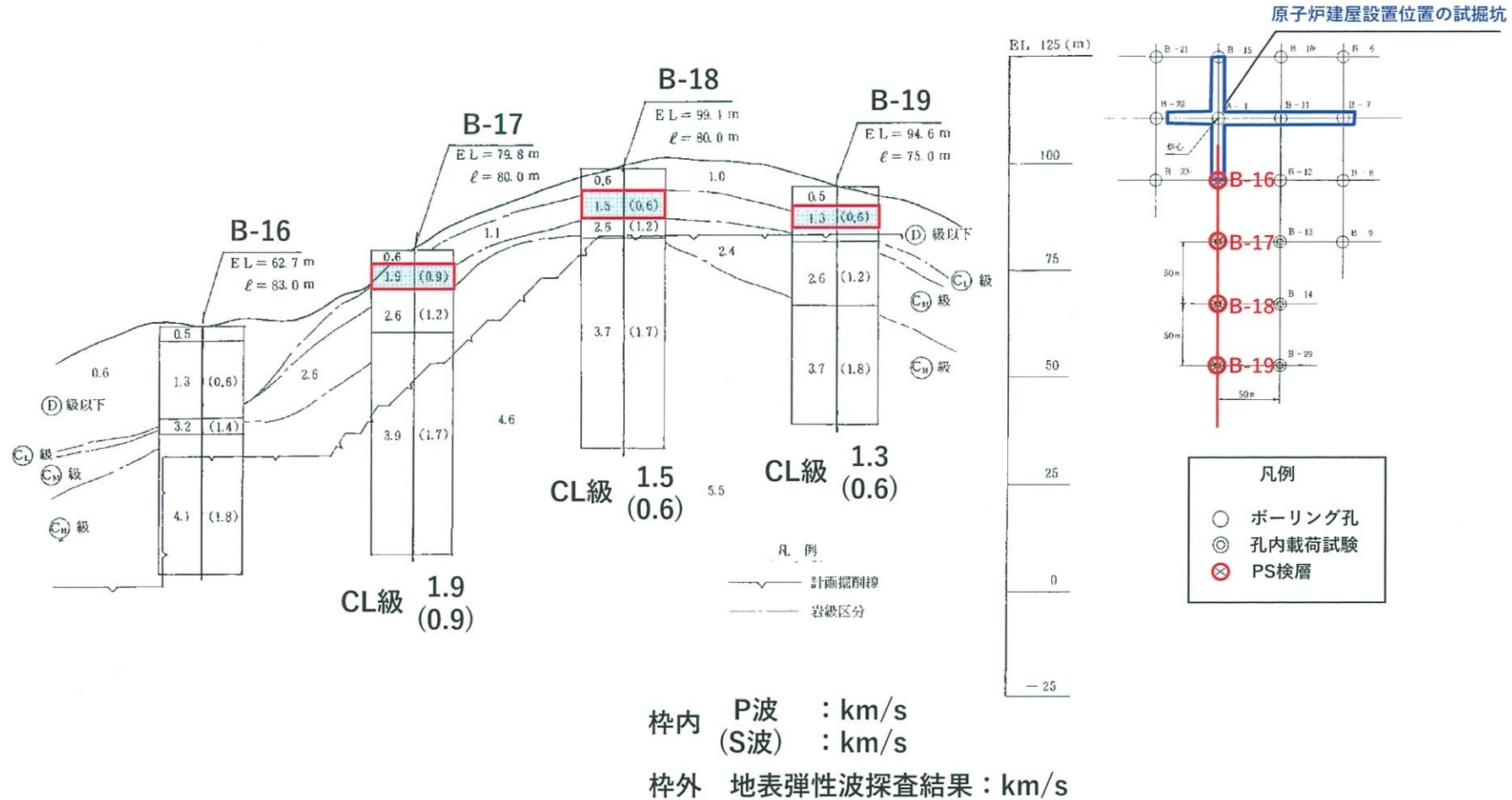
【III級岩盤①(CL級)の動的変形特性】

解析用 岩盤分類	弾性波速度		単位体積重量 γ (kN/m ³)	G (kN/m ²)	E (kN/m ²)	ν_d	h (%)
	Vp	Vs					
III級①	1.6	0.7	25.5	1.27×10^6	3.51×10^6	0.38	3.0

III級岩盤①(CL級岩盤)の動的変形特性 (2)

【結果】 PS検層

斜面部のボーリング孔で実施したPS検層の結果を示す。
CL級岩盤の弾性波速度は、P波が約1.6km/s、S波が約0.7km/sである。

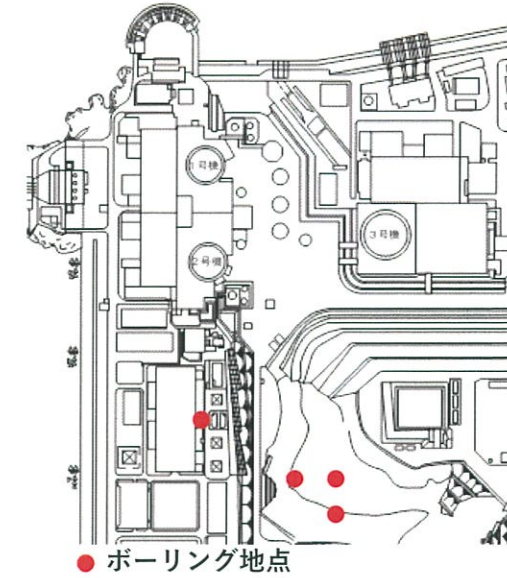


III級岩盤②(D級岩盤・表土)の動的変形特性 (1)

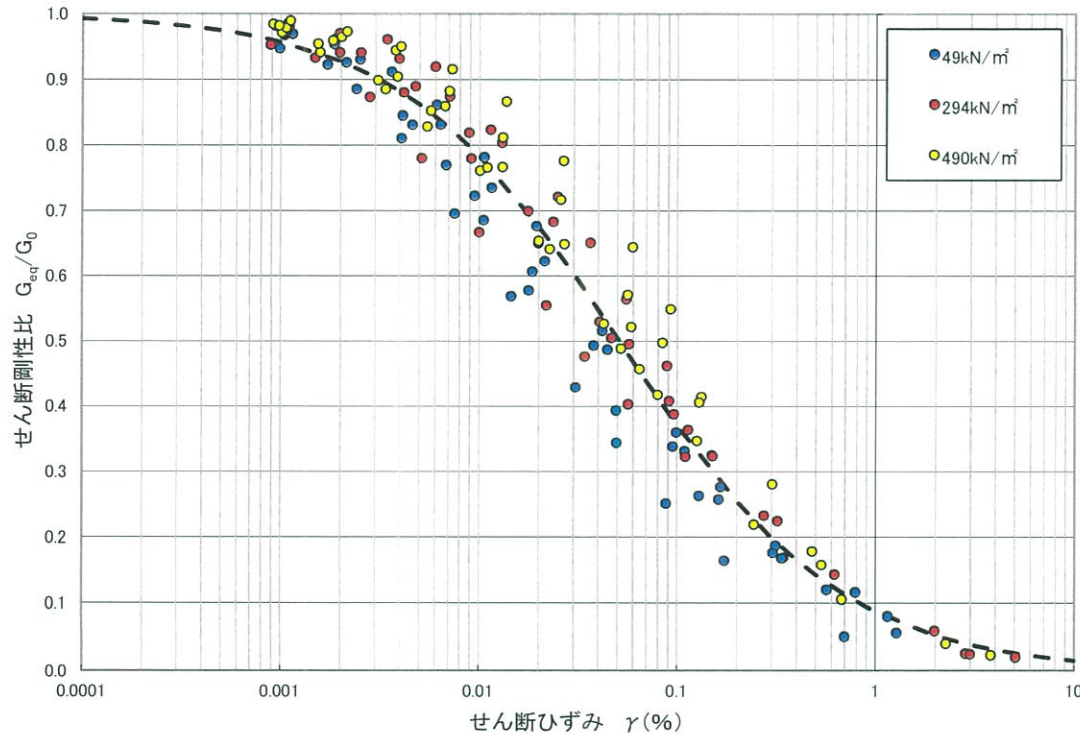
平成23～24年度に実施したボーリング調査のうち、振動三軸試験結果から動的変形特性を設定した。

【試験条件】

試料：右図地点で実施したボーリング試料から採取
側圧：49kN/m², 294kN/m², 490kN/m²



① 動的せん断弾性係数



$$G_d/G_0 = 1 / (1 + 10.4 \gamma^{0.787})$$

$$G_0 = 43,900 \text{ kN/m}^2$$

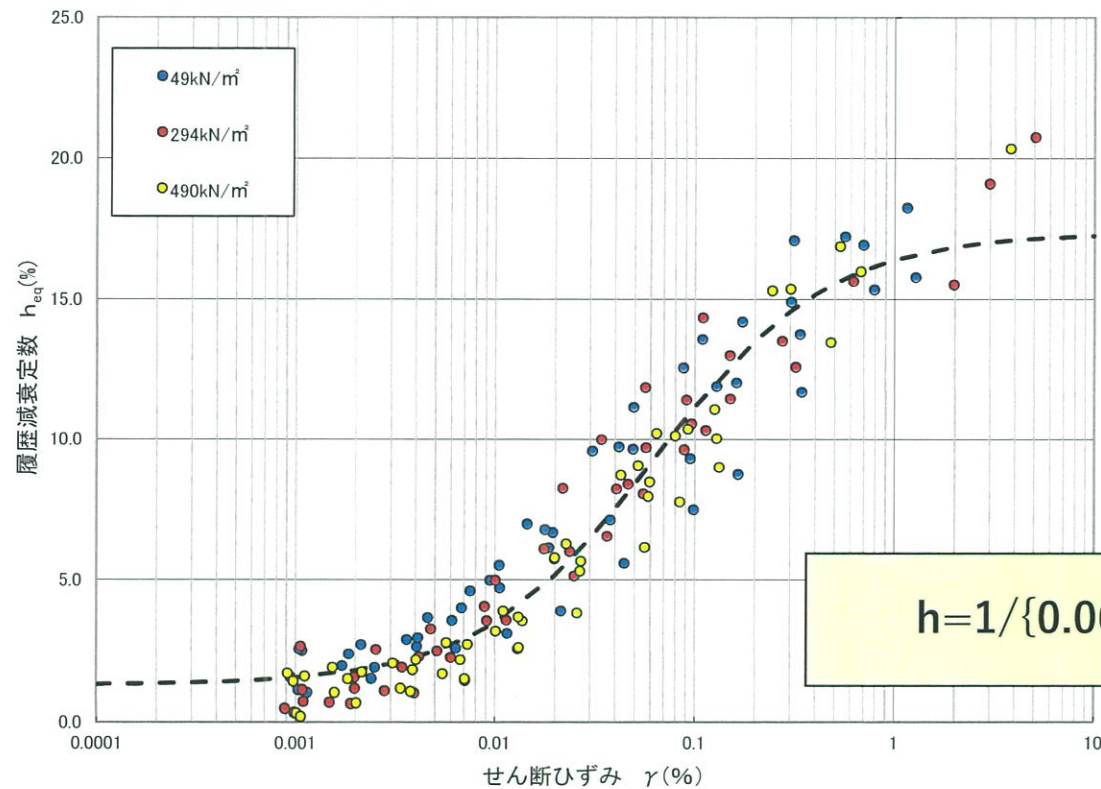
III級岩盤②(D級岩盤・表土)の動的変形特性 (2)

② 動的ポアソン比

静的ポアソン比と同じ値を設定。

$$v_d = 0.45$$

③ 減衰定数



III級岩盤(D級岩盤・表土)の動的変形特性 (1)

3号炉増設時の安全審査において実施した弾性波探査等から動的変形特性を設定。

動的変形特性に関する調査項目
・ ボーリング孔内PS検層

① 動弾性係数

$$G = \rho \cdot Vs^2 \qquad E = 2 \cdot (1 + \nu_d) \cdot G$$

$$= (\gamma / g) \cdot Vs^2$$

γ : 単位体積重量
 g : 重力加速度
 Vp : 弾性波速度
 Vs : せん断弾性波速度
 ν_d : 動的ポアソン比

② 動的ポアソン比

$$\nu_d = 1/2 \cdot \{(Vp/Vs)^2 - 2\} / \{(Vp/Vs)^2 - 1\}$$

③ 減衰定数

一般的な値を設定。

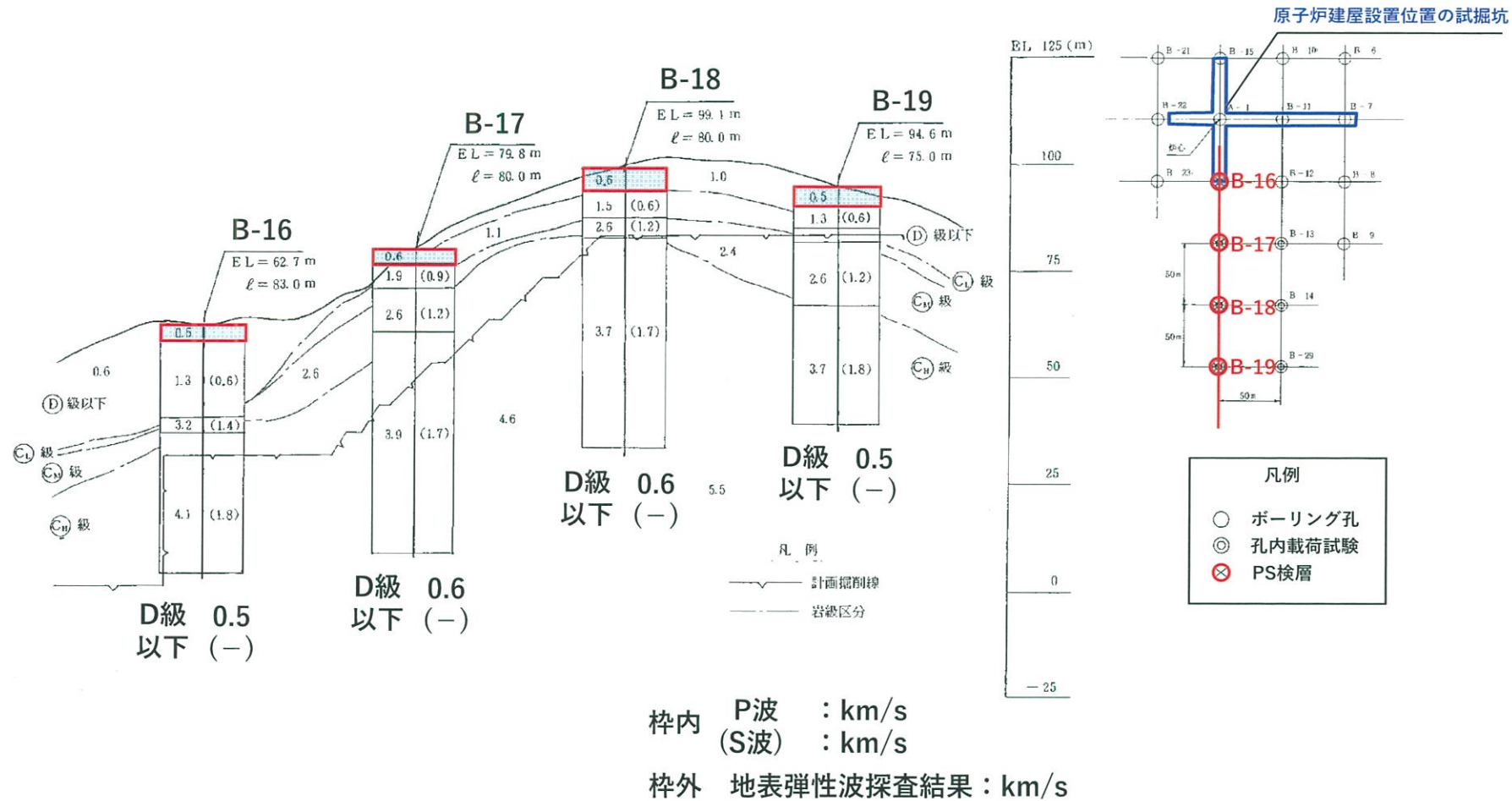
【III級岩盤(D級・表土)の動的変形特性】

解析用 岩盤分類	弾性波速度		単位体積重量 γ (kN/m ³)	G (kN/m ²)	E (kN/m ²)	ν_d	h (%)
	Vp	Vs					
III級	0.5	0.152	18.6	0.0439×10^6	0.127×10^6	0.45	10.0

III級岩盤(D級岩盤・表土)の動的変形特性 (2)

【結果】 PS検層

斜面部のボーリング孔で実施したPS検層の結果を示す。
D級岩盤以下の弾性波速度は、P波が約0.5km/sである。



断層(軟質無)の動的変形特性 (1)

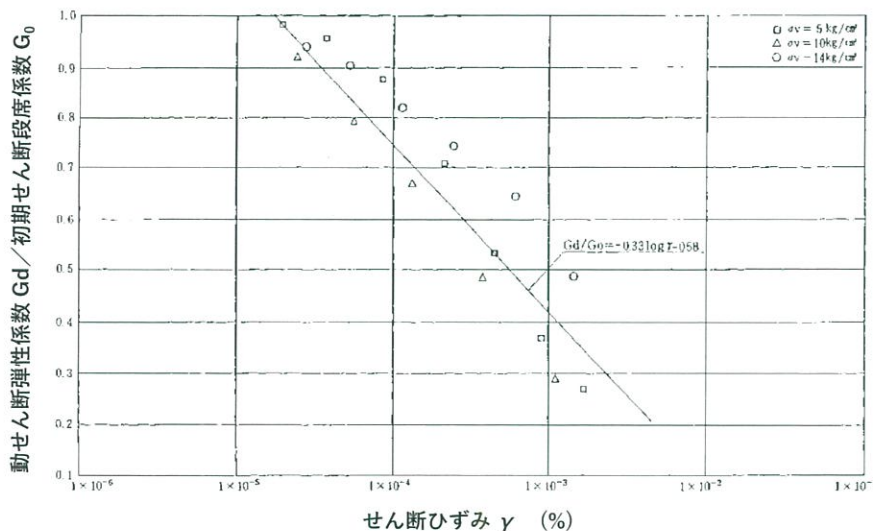
3号炉増設時の安全審査において実施した動的ねじりせん断試験結果から動的変形特性を設定。

【試験条件】

試料 : Fa-4断層から採取
 垂直応力 σ_v' : 5.0, 10.0, 14.0 kgf/cm²
 水平応力 σ_h' : 2.5, 5.0, 7.0 kgf/cm²

① 動的せん断弾性係数

動的ねじりせん断試験結果より

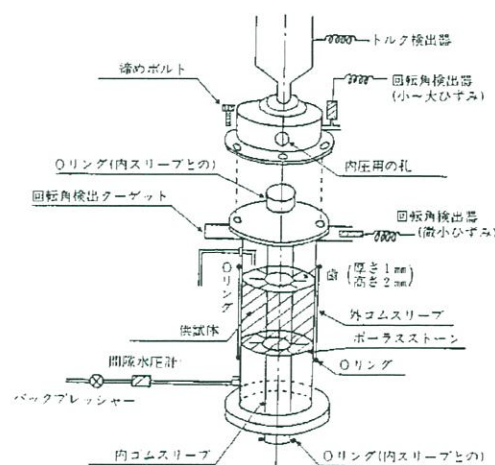


$$G_d/G_0 = -0.33 \text{ Log } \gamma - 0.58$$

$$G_0 = 3,000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$294,000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

試験装置図



断層(軟質無)の動的変形特性 (2)

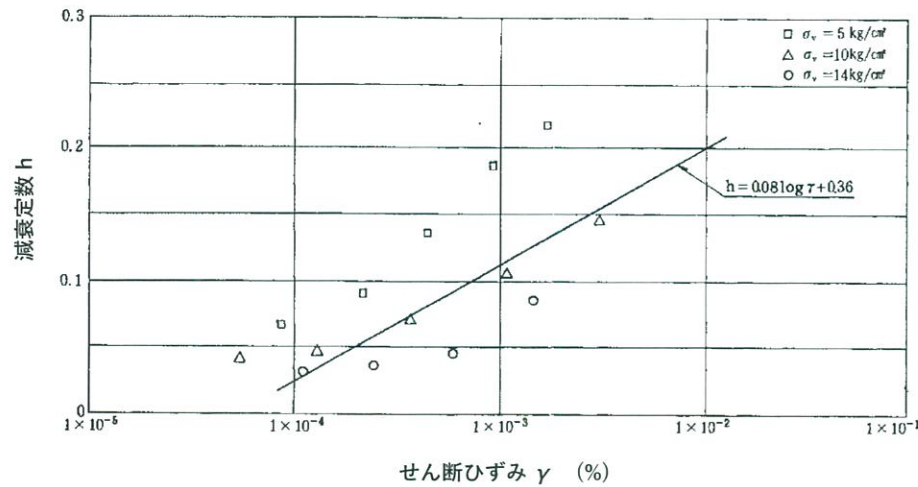
② 動的ポアソン比

II 級岩盤と III 級岩盤の中間の値を設定。

$$v_d = (0.36 + 0.45)/2 = \mathbf{0.40}$$

③ 減衰定数

動的ねじりせん断試験結果より



$$h = 0.08 \text{ Log } \gamma + 0.36 \quad (\gamma > 10^{-4})$$

断層(軟質含)の動的変形特性 (1)

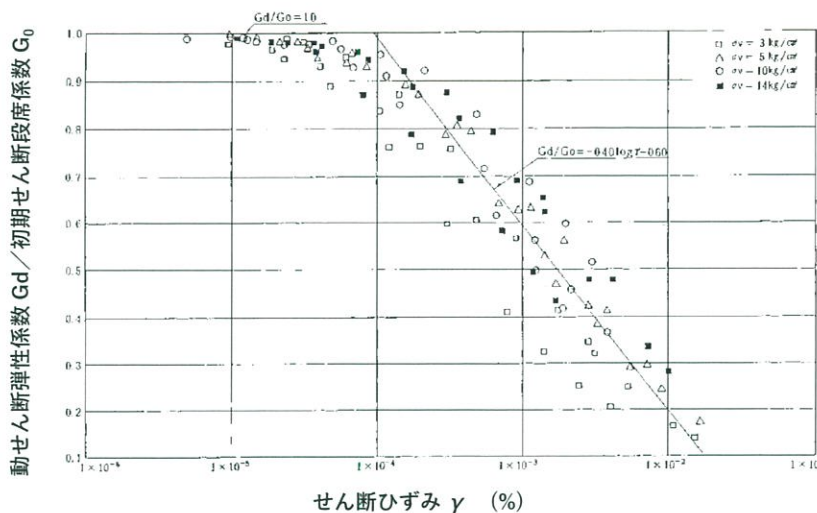
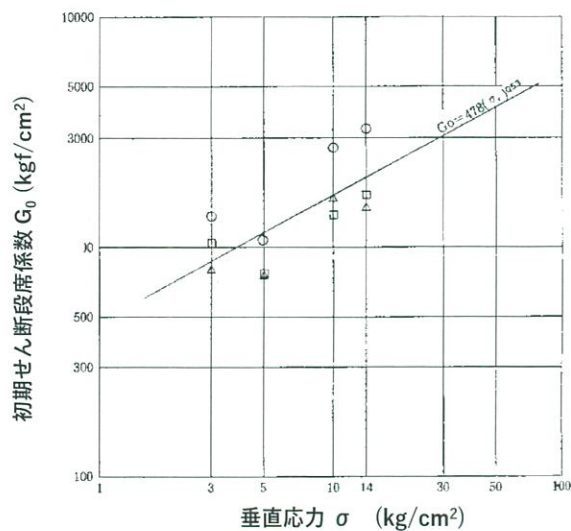
3号炉増設時の安全審査において実施した動的ねじりせん断試験結果から動的変形特性を設定。

【試験条件】

試料 : Fa-3断層から採取
 垂直応力 σ_v' : 3.0, 5.0, 10.0, 14.0 kgf/cm²
 水平応力 σ_h' : 1.5, 2.5, 5.0, 7.0 kgf/cm²

① 動的せん断弾性係数

動的ねじりせん断試験結果より



$$G_0 = 478 (\sigma_v)^{0.53} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$4,130 (\sigma_v)^{0.53} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$G_d/G_0 = -0.40 \text{ Log } \gamma - 0.60$$

断層(軟質含)の動的変形特性 (2)

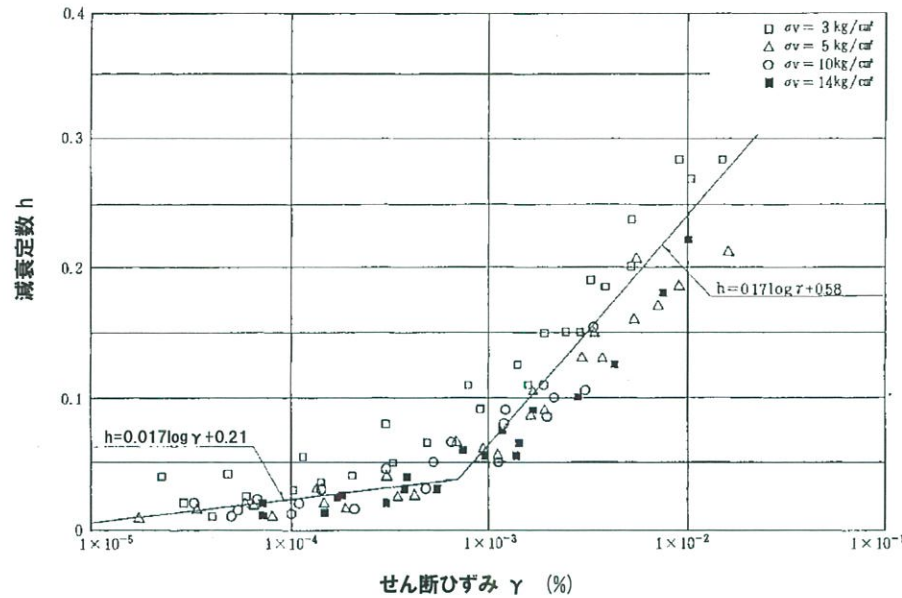
② 動的ポアソン比

静的ポアソン比と同じ値を設定。

$$v_d = 0.45$$

③ 減衰定数

動的ねじりせん断試験結果より



$$h = 0.17 \text{ Log } \gamma + 0.58 \quad (\gamma \geq 10^{-3})$$

$$h = 0.017 \text{ Log } \gamma + 0.09 \quad (\gamma < 10^{-3})$$

I 地質の概要に関する補足

II 解析用物性値の設定根拠

1. 解析用物性値

2. 物理特性

3. 強度特性

4. 静的変形特性

5. 動的変形特性

6. 支持力の評価基準値

III 原子炉建屋等に関する評価の補足

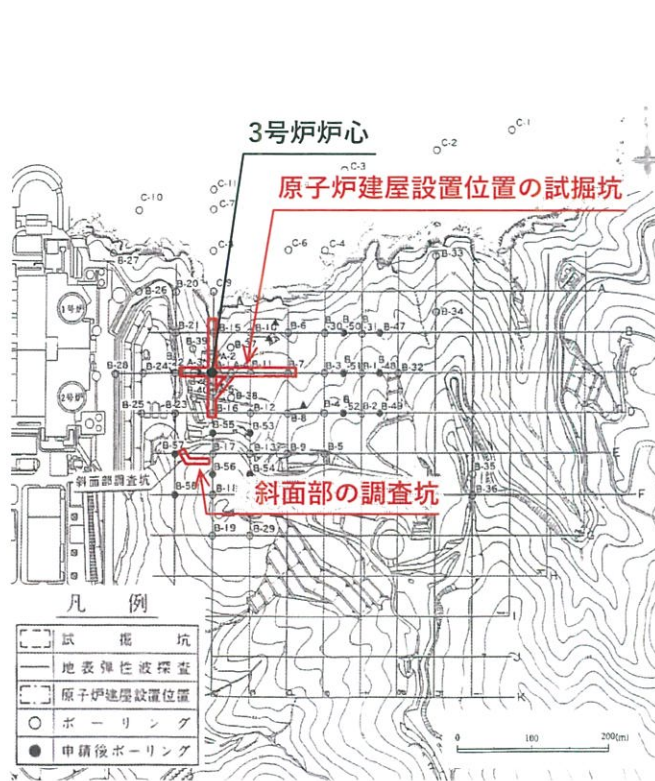
IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足

V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

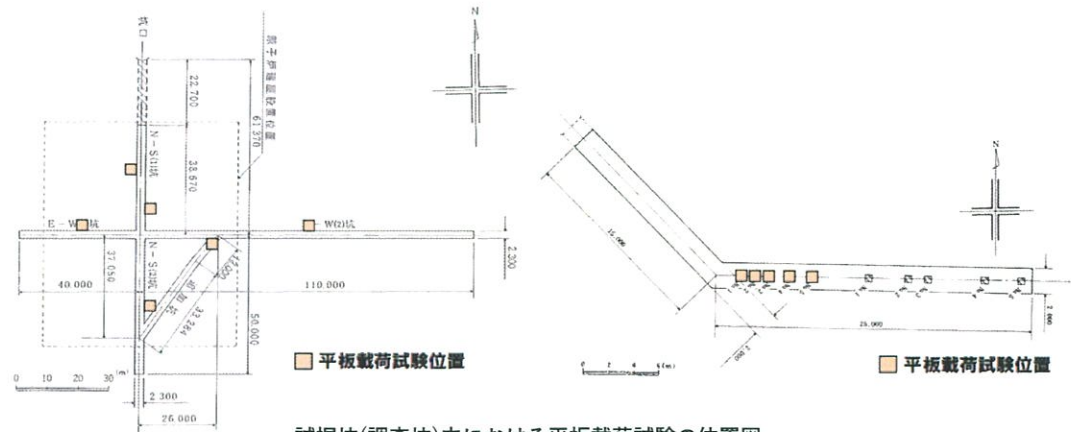
平成27年6月3日
再稼働許可まとめ資料再掲

支持力の評価基準値

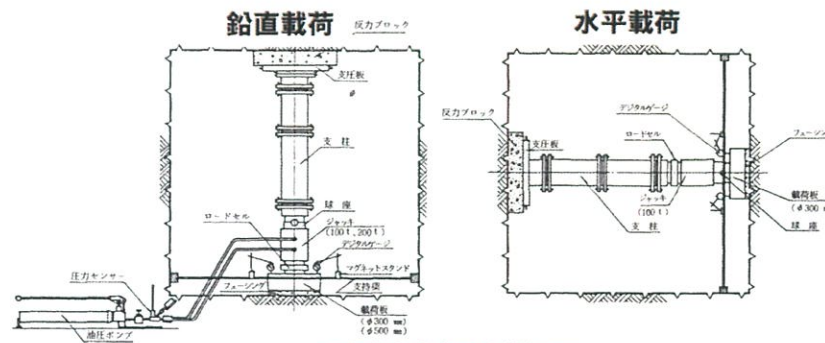
- 原子炉建屋設置位置の試掘坑において実施したCH級岩盤の平板載荷試験，及び斜面部の調査坑で実施したCM級岩盤の平板載荷試験の結果，いずれも80kg/cm²(7.84N/mm²)の高応力域においても弾性的挙動を示していることから，80kg/cm²(7.84N/mm²)を評価基準値として設定した。



伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆



試掘坑(調査坑)内における平板載荷試験の位置図
(左：原子炉建屋設置位置の試掘坑 右：斜面部の調査坑)



平板載荷試験の試験装置図

I 地質の概要に関する補足

II 解析用物性値の設定根拠

III 原子炉建屋等に関する評価の補足

(地震力に対する安定性評価に関する補足)

1. すべり面設定の考え方

2. 地下水位の設定に関する補足

3. 要素ごとの局所安全係数

4. 計算結果一覧

5. 進行性破壊等についての検討(静的非線形解析)

6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討

7. 原子炉建屋基礎地盤の断面選定に関する補足

8. 海水取水口の通水機能に関する補足

(地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価に関する補足)

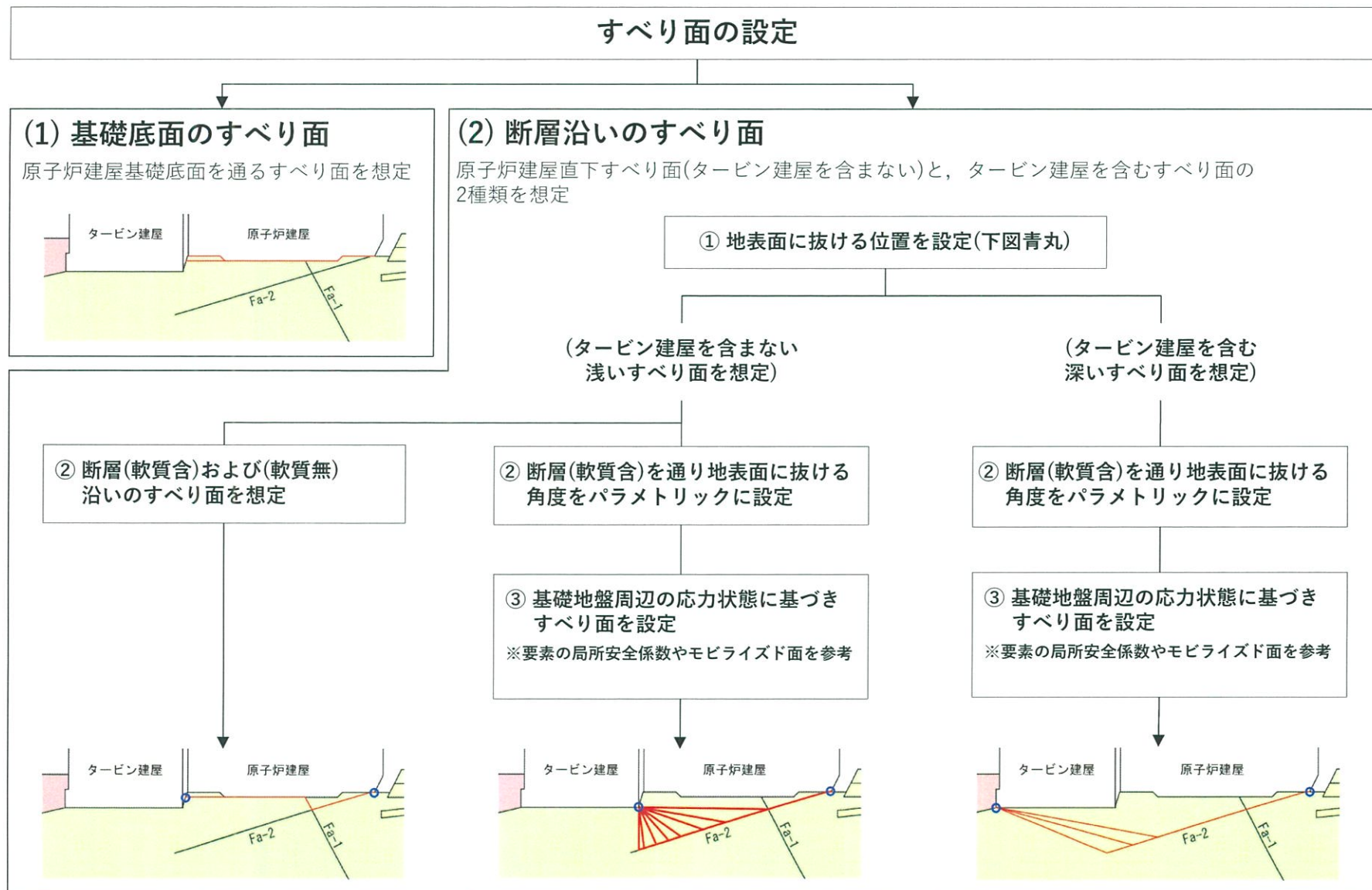
9. 基準津波以外の場合の地殻変動に関する検討

IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足

V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

すべり面の設定方法(基礎地盤)

～原子炉建屋基礎地盤を例に概説～



Fa-1 : 断層(軟質無) Fa-2 : 断層(軟質含)

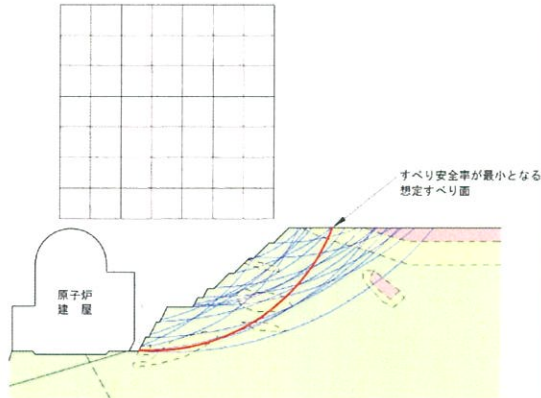
すべり面の設定方法(周辺斜面(斜面に近接する基礎地盤を含む))

～原子炉建屋周辺斜面を例に概説～

すべり面の設定

(1) 簡便法によるすべり面

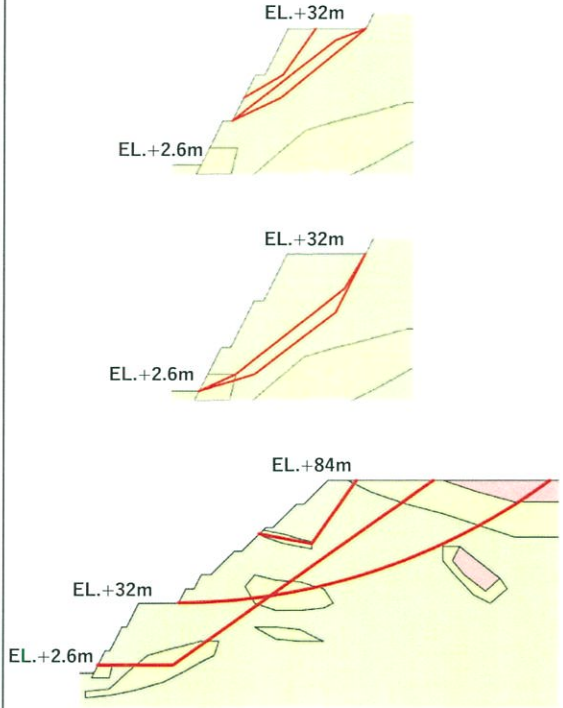
- すべり面の形状を円弧と仮定し、中心と半径を変化させ、すべり安全率が最小となるすべり面を抽出する。
- 作用させる地震力は $K_H=0.3$, $K_V=0.15$ ※



※ JEAG 4601-2008

(2) 安全審査時の検討結果を参考に設定したすべり面

- 安全審査時の検討(簡便法, 静的FEM解析)に基づき、すべり面を設定する。



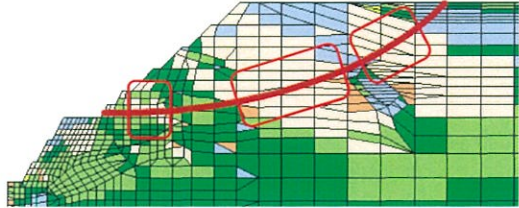
(3) 応力状態を考慮したすべり面

- (1),(2)で設定したすべり面について地震時安定性検討を行い、得られた要素の応力状態に基づいて、すべり面を設定する。

要素の安全率が低い領域を考慮

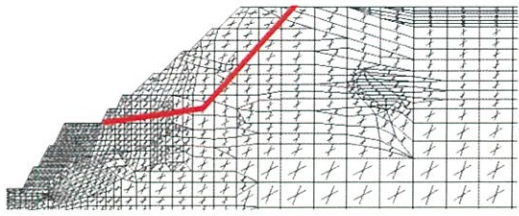
引張応力が発生した要素, せん断強度に達した要素を通るようにすべり面を設定

- : 引張応力が発生した要素
- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素



モビライズド面を考慮

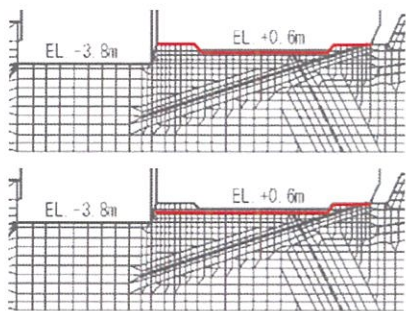
モビライズド面を連ねるようにすべり面を設定



① X-X'断面(原子炉建屋基礎地盤)

○ 基礎底面のすべり面

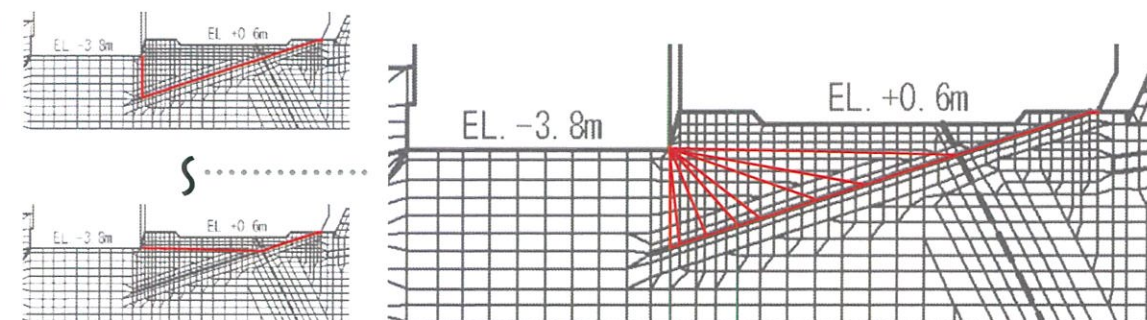
人工構造物と岩盤の間を通るすべり面を想定。



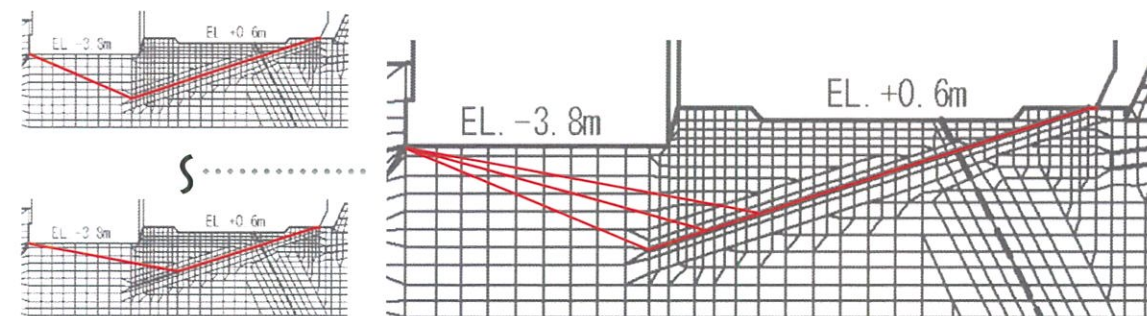
○ 断層(軟質含)沿いのすべり面

断層(軟質含)沿いのすべり面を想定し、地表面への立ち上がり角度をパラメータスタディ(モビライズド面^{※1}を含む)。原子炉建屋の直下のみですべる面(タービン建屋を含まない)と、タービン建屋を含んですべる面の2種類を想定。

タービン建屋を含まない

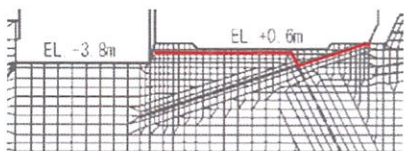


タービン建屋を含む



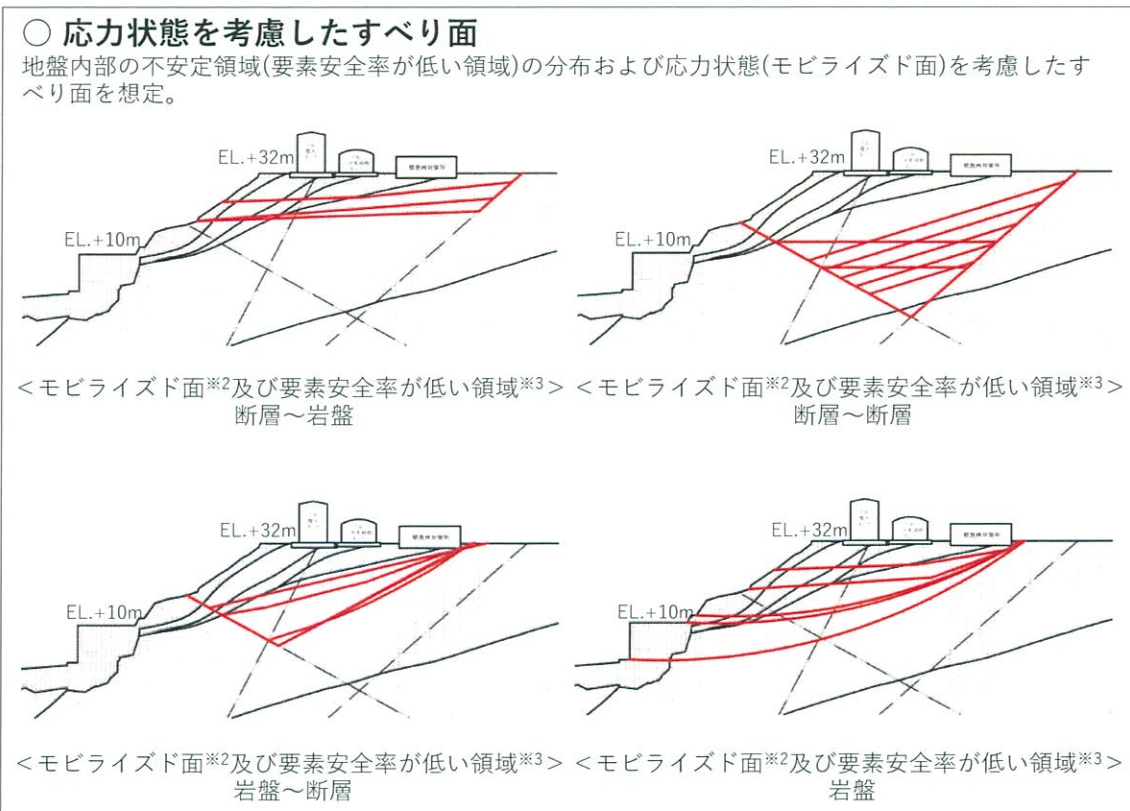
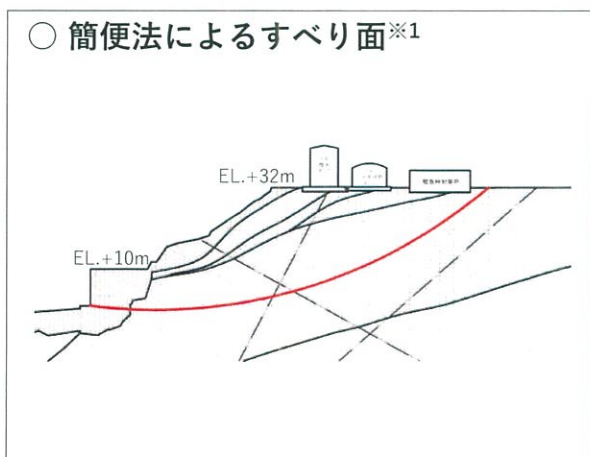
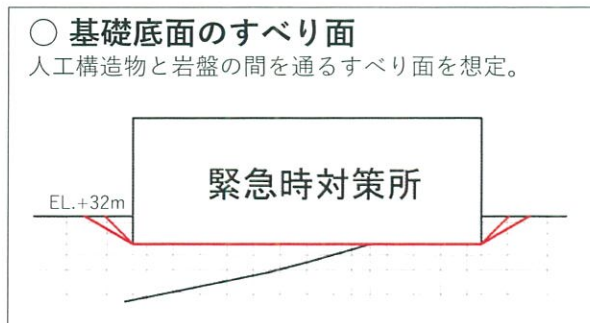
○ 断層(軟質含)及び断層(軟質無)沿いのすべり面

断層(軟質含)及び断層(軟質無)沿いのすべり面を想定。



※1 モビライズド面(岩盤がせん断破壊しやすい方向)を連ねるようにすべり面を設定。

② A-A'断面(緊急時対策所基礎地盤)

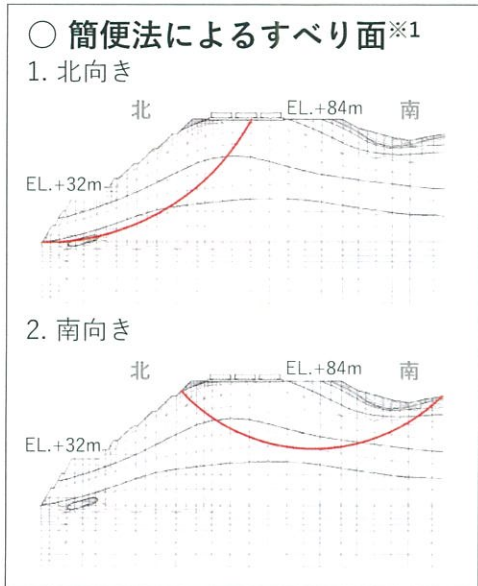
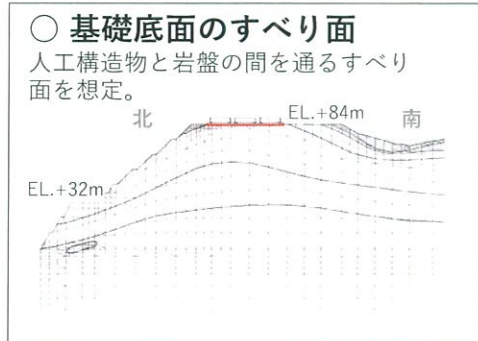


※1 円弧すべり面：すべり面の形状を円弧と仮定し、円弧の形状を多数変化させてそれぞれのすべり安全率を求め、最小となるものを設定。

※2 要素の破壊に対する安全率が低い領域を長く通るようにすべり面を設定。

※3 モビライズド面(岩盤がせん断破壊しやすい方向)を連ねるようにすべり面を設定。

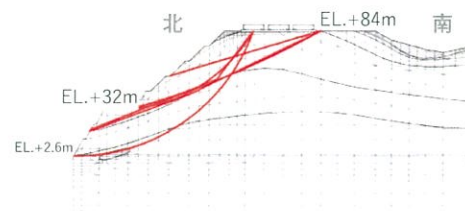
③ D-D'断面(重油タンク基礎地盤)



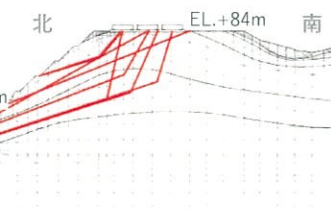
応力状態を考慮したすべり面

地盤内部の不安定領域(要素安全率が低い領域)の分布および応力状態(モビライズド面)を考慮したすべり面を想定。

1. 北向き

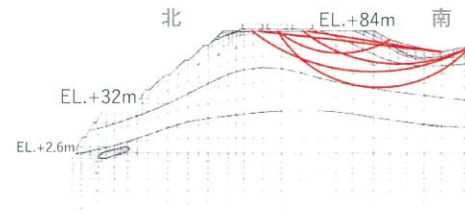


<要素安全率が低い領域※2>

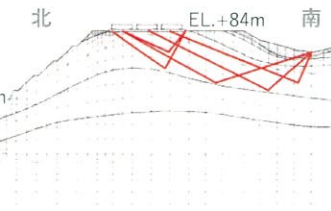


<モビライズド面※3>

2. 南向き



<要素安全率が低い領域※2>



<モビライズド面※3>

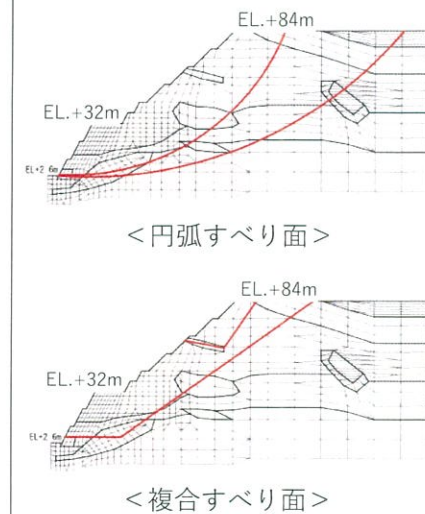
※1 円弧すべり面：すべり面の形状を円弧と仮定し、円弧の形状を多数変化させてそれぞれのすべり安全率を求め、最小となるものを設定。

※2 要素の破壊に対する安全率が低い領域を長く通るようにすべり面を設定。

※3 モビライズド面(岩盤がせん断破壊しやすい方向)を連ねるようにすべり面を設定。

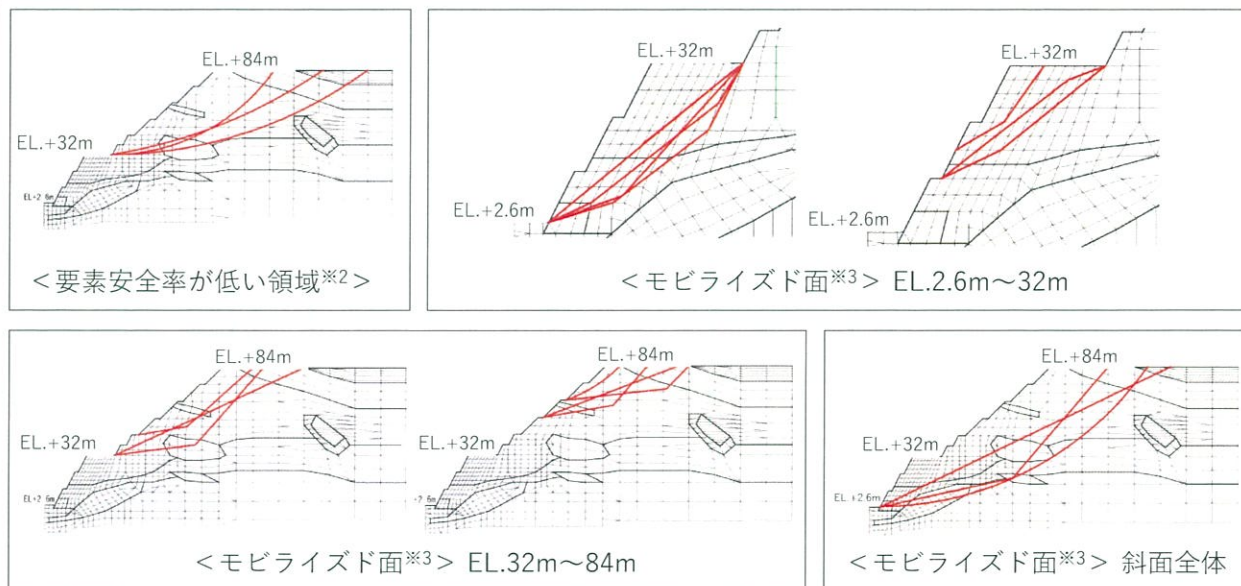
④ X-X'断面(原子炉建屋周辺斜面)

○ 簡便法によるすべり面※1



○ 応力状態を考慮したすべり面

地盤内部の不安定領域(要素安全率が低い領域)の分布および応力状態(モビライズド面)を考慮したすべり面を想定。



※1 円弧すべり面：すべり面の形状を円弧と仮定し、円弧の形状を多数変化させてそれぞれのすべり安全率を求め、最小となるものを設定。

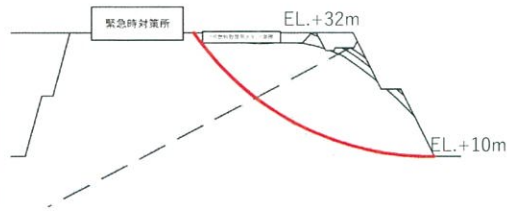
複合すべり面：すべり面の形状を折れ線と仮定し、相対的に強度が低い岩盤を長く通るようにすべり面を設定。

※2 要素の破壊に対する安全率が低い領域を長く通るようにすべり面を設定。

※3 モビライズド面(岩盤がせん断破壊しやすい方向)を連ねるようにすべり面を設定。

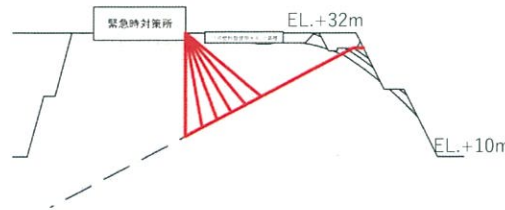
⑤ C-C'断面(海水ピット周辺斜面)

○ 簡便法によるすべり面※1



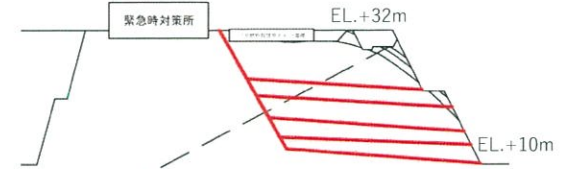
○ 断層沿いのすべり面

断層沿いのすべり面を想定し、地表面への立ち上がり角度をパラメータスタディ。

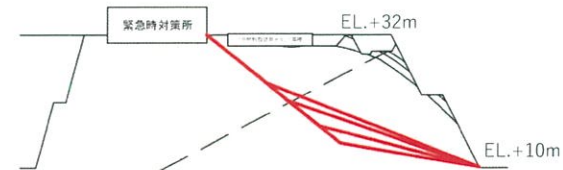


○ 応力状態を考慮したすべり面

地盤内部の不安定領域(要素安全率が低い領域)の分布及び応力状態(モビライズド面)を考慮したすべり面を想定。



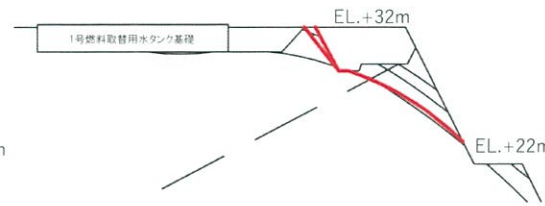
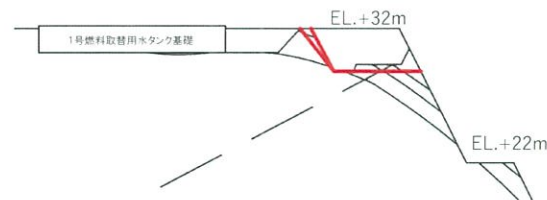
<要素安全率が低い領域※2>



<モビライズド面※3及び要素安全率が低い領域※2>

○ 法肩部のすべり面

構造物と岩盤の間を通るすべり面を想定。



※1 円弧すべり面：すべり面の形状を円弧と仮定し、円弧の形状を多数変化させてそれぞれのすべり安全率を求め、最小となるものを設定。

※2 要素の破壊に対する安全率が低い領域を長く通るようにすべり面を設定。

※3 モビライズド面(岩盤がせん断破壊しやすい方向)を連ねるようにすべり面を設定。

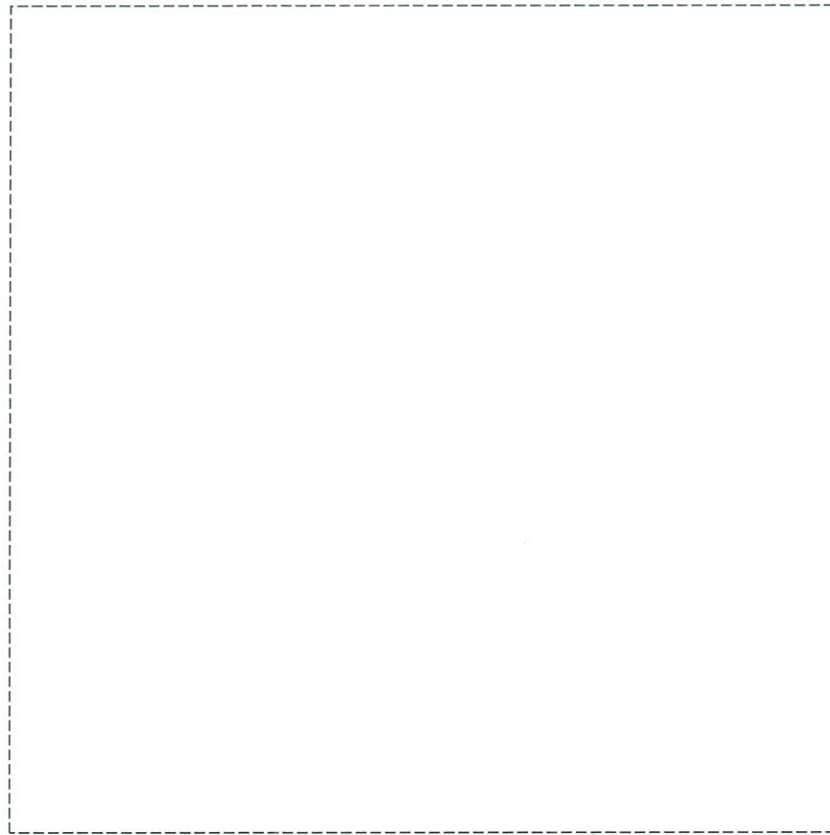
-
- I 地質の概要に関する補足
 - II 解析用物性値の設定根拠
 - III 原子炉建屋等に関する評価の補足
(地震力に対する安定性評価に関する補足)
 - 1. すべり面設定の考え方
 - 2. 地下水位の設定に関する補足
 - 3. 要素ごとの局所安全係数
 - 4. 計算結果一覧
 - 5. 進行性破壊等についての検討(静的非線形解析)
 - 6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討
 - 7. 原子炉建屋基礎地盤の断面選定に関する補足
 - 8. 海水取水口の通水機能に関する補足
 - (地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価に関する補足)
 - 9. 基準津波以外の場合の地殻変動に関する検討
 - IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足
 - V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

本資料のうち、枠囲み「」の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

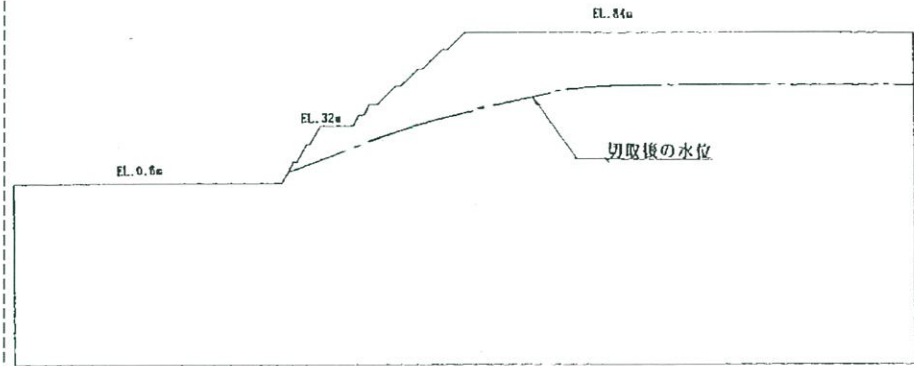
平成27年6月3日
再稼働許可まとめ資料再掲

地下水位の設定に関する補足

○ 地下水位については、3号炉増設時の安全審査において浸透流解析を実施し、下図のとおり地下水位線を設定している。



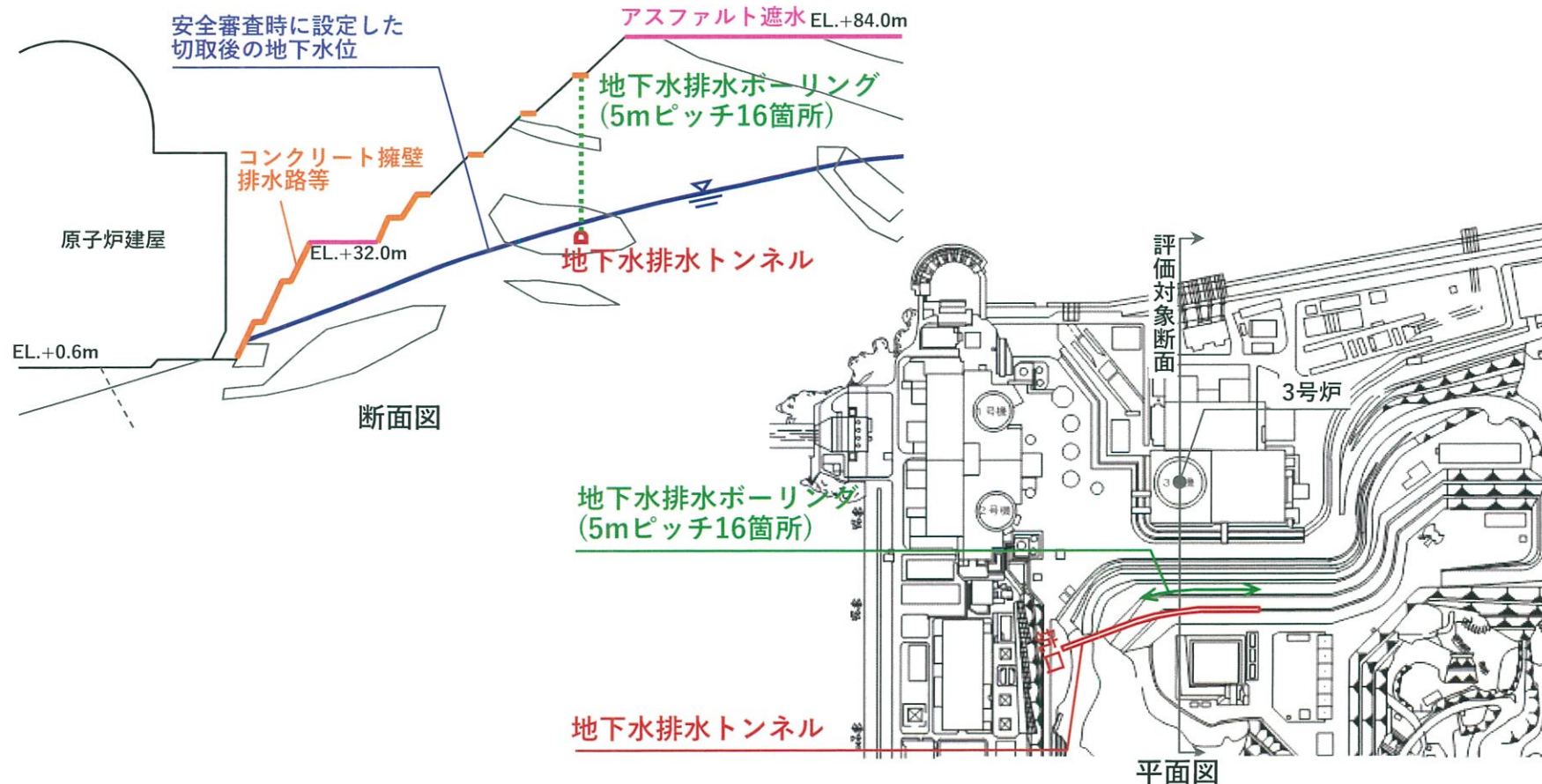
敷地レイアウト及び解析断面位置図



切取後の地下水位(X-X'断面)

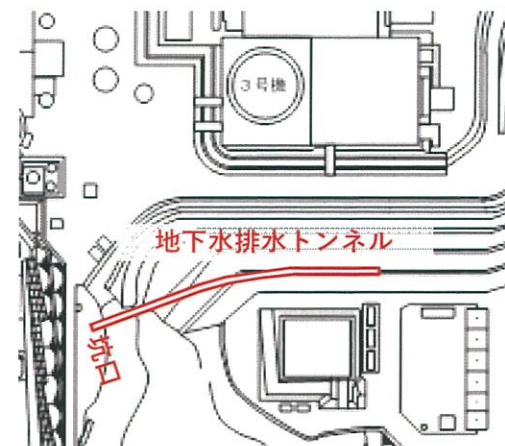
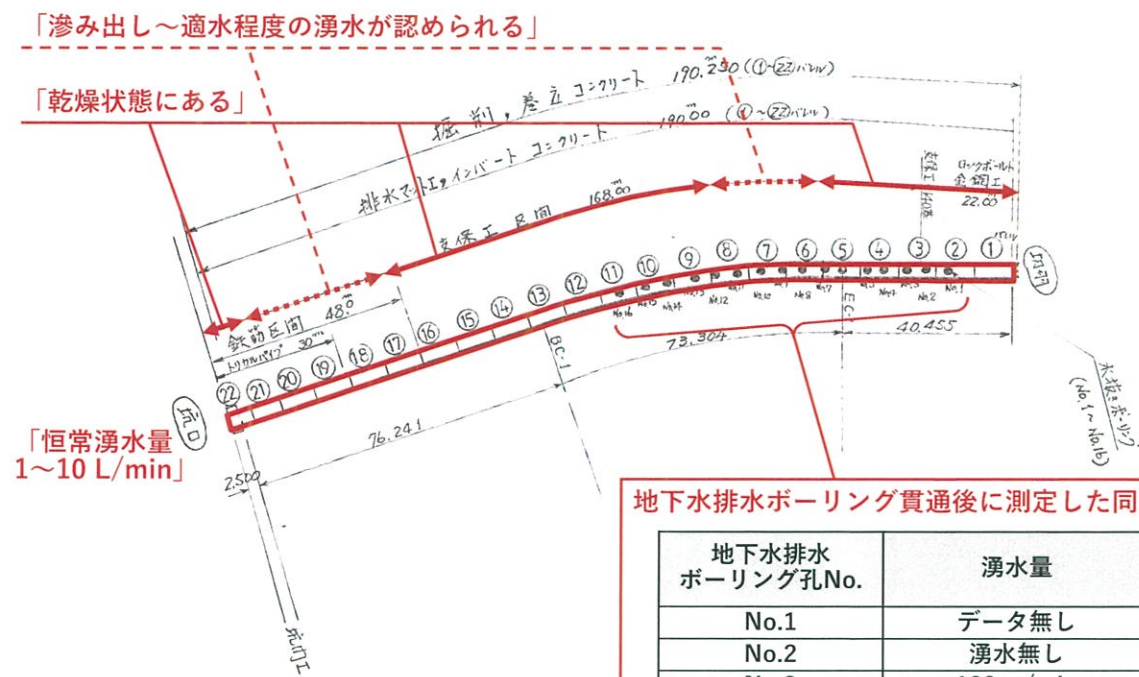
地下水排水トンネル 及び 地下水排水ボーリング

- 原子炉建屋背後斜面は切土により造成されており、表土や崖錐堆積物は存在せず、風化を受けていない新鮮・堅硬な岩盤で構成されている。
- また、切土後はアスファルト遮水やコンクリート擁壁、排水設備等を設けており、降水の斜面内部への浸透は抑制されている。
- また、3号炉増設時、当該斜面には**地下水排水トンネル**及びこれに通じる**地下水排水ボーリング**を設置している。**地下水排水トンネル**坑口からの湧水量は極めて少なく、かつ**地下水排水トンネル内**は一部にしみ出し・適水程度が認められる以外はほぼ乾燥状態にあり、降雨時においても湧水はほとんど認められない。
- 以上より、斜面内の地下水位は少なくとも地下水排水トンネルより下方にあると考えられることから、安全審査時に設定した切取後の地下水位線は十分安全側であると評価できる。



(参考) 地下水排水トンネルの湧水状況

○ 地下水排水トンネルの湧水状況調査結果によると、地下水排水トンネルは、ほぼ乾燥状態にある。



地下水排水ボーリング貫通後に測定した同孔から地下水排水トンネルへの湧水量

地下水排水ボーリング孔No.	湧水量	地下水排水ボーリング孔No.	湧水量
No.1	データ無し	No.9	500cc/min
No.2	湧水無し	No.10	にじむ程度
No.3	100cc/min	No.11	データ無し
No.4	150cc/min	No.12	データ無し
No.5	100cc/min以下	No.13	500cc/min
No.6	にじむ程度	No.14	700cc/min
No.7	湿る程度	No.15	湧水無し
No.8	100cc/min	No.16	100cc/min

測定期間：昭和63年8月9日～24日

I 地質の概要に関する補足

II 解析用物性値の設定根拠

III 原子炉建屋等に関する評価の補足

(地震力に対する安定性評価に関する補足)

1. すべり面設定の考え方

2. 地下水位の設定に関する補足

3. 要素ごとの局所安全係数

4. 計算結果一覧

5. 進行性破壊等についての検討(静的非線形解析)

6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討

7. 原子炉建屋基礎地盤の断面選定に関する補足

8. 海水取水口の通水機能に関する補足

(地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価に関する補足)

9. 基準津波以外の場合の地殻変動に関する検討

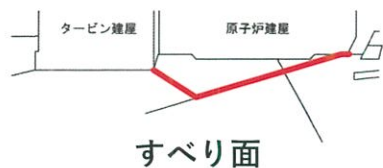
IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足

V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

要素ごとの局所安全係数

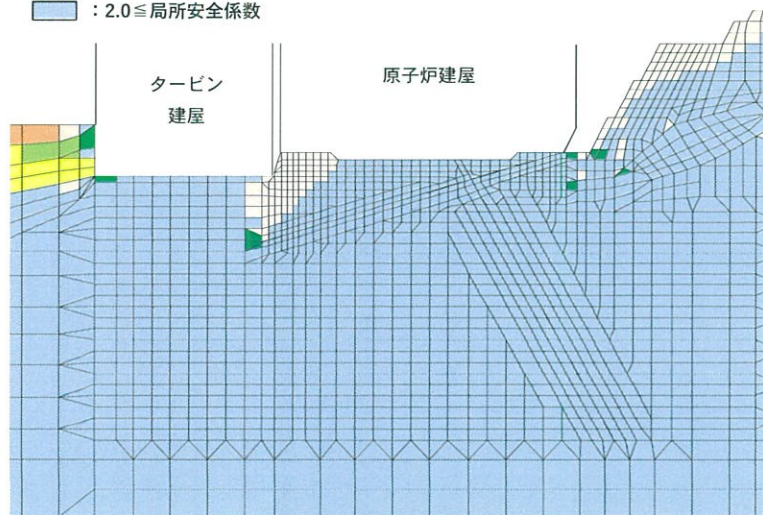
① X-X'断面(原子炉建屋基礎地盤)

基準地震動：Ss-1(-,-)，時刻：43.73秒，すべり安全率：1.8

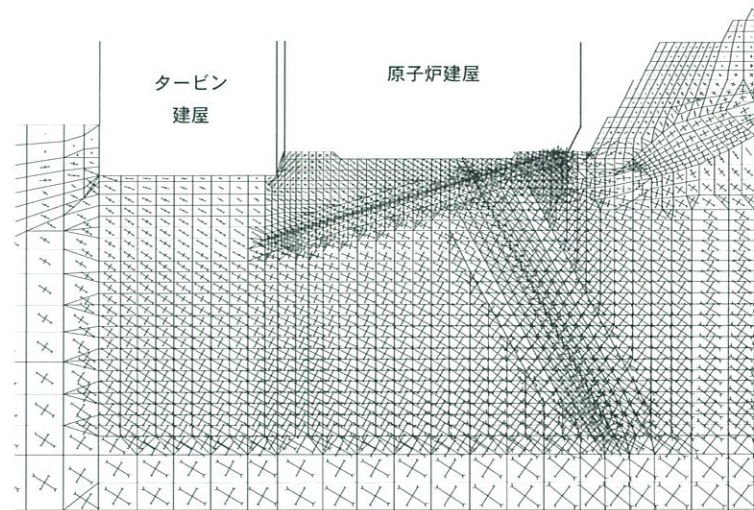


凡例

- ：引張応力が発生した要素
- ：せん断強度に達した要素
- ：引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素
- ： $1.0 \leq$ 局所安全係数 < 1.5
- ： $1.5 \leq$ 局所安全係数 < 2.0
- ： $2.0 \leq$ 局所安全係数

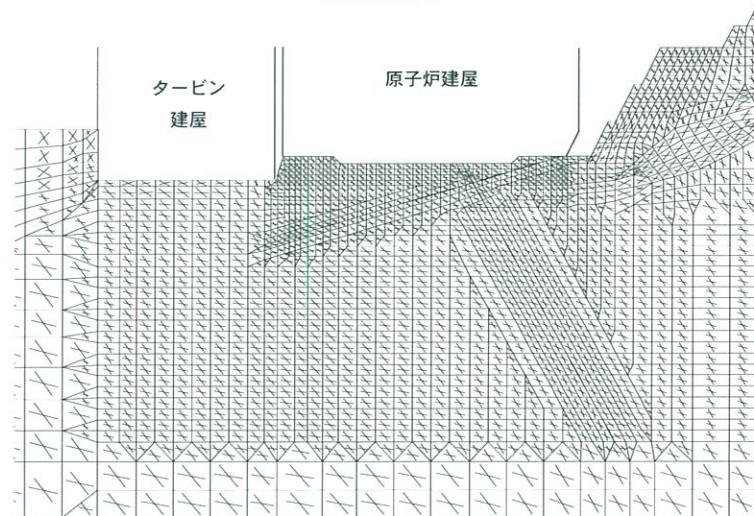


局所安全係数図



凡例 主応力 \rightarrow
5,000 kN/m²

主応力図

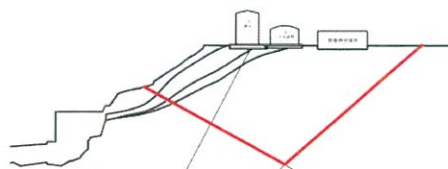


モビライズド面

要素ごとの局所安全係数

② A-A'断面(緊急時対策所基礎地盤)

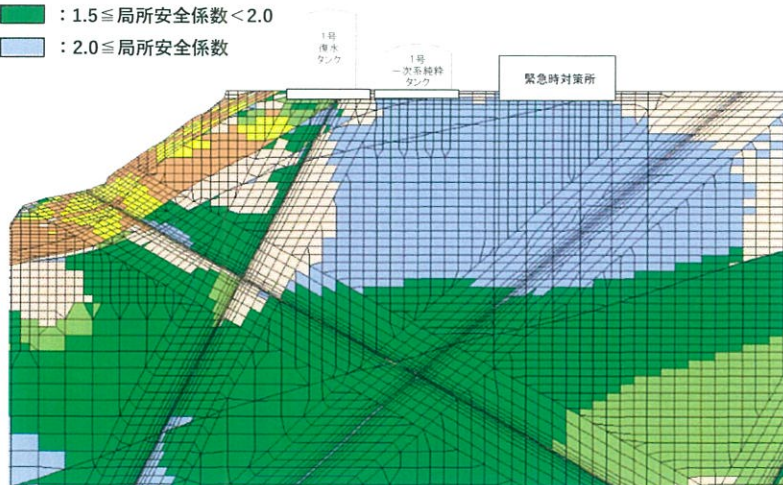
基準地震動：Ss-1(+,+), 時刻：43.73秒, すべり安全率：2.1



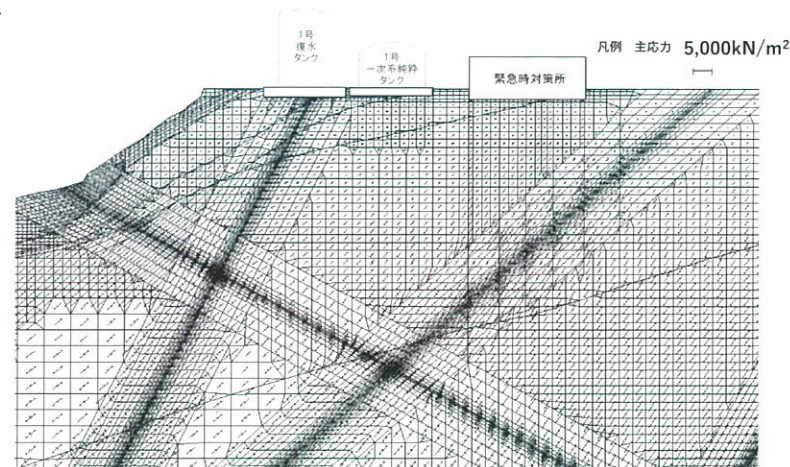
すべり面

凡例

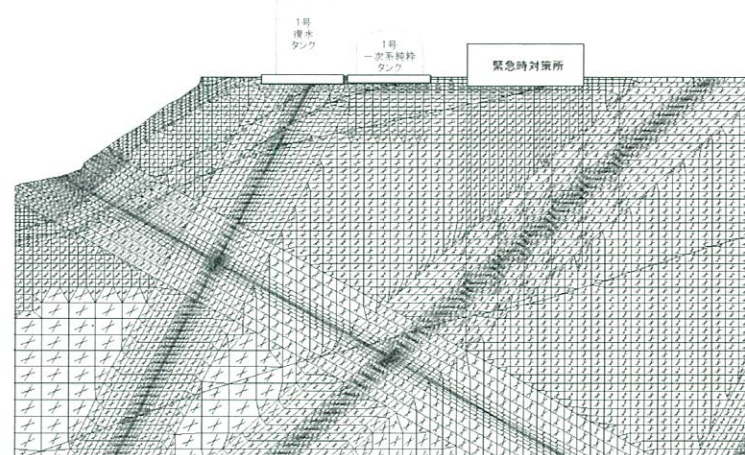
- : 引張応力が発生した要素
- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素
- : $1.0 \leq$ 局所安全係数 < 1.5
- : $1.5 \leq$ 局所安全係数 < 2.0
- : $2.0 \leq$ 局所安全係数



局所安全係数図



主応力図

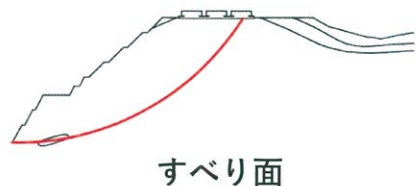


モビライズド面

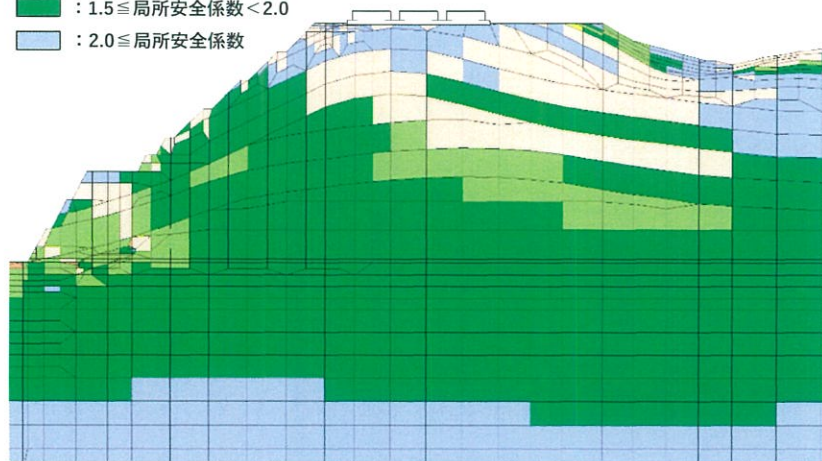
要素ごとの局所安全係数

③ D-D'断面(重油タンク基礎地盤)

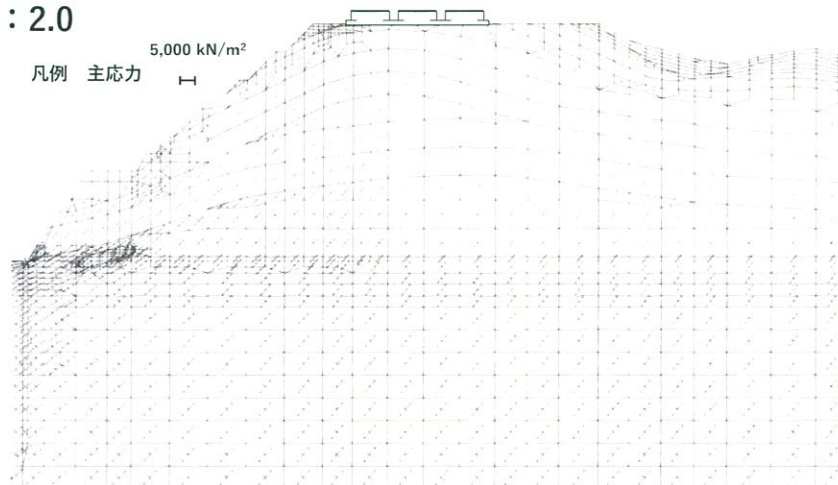
基準地震動：Ss-1(+,-)，時刻：43.74秒，すべり安全率：2.0



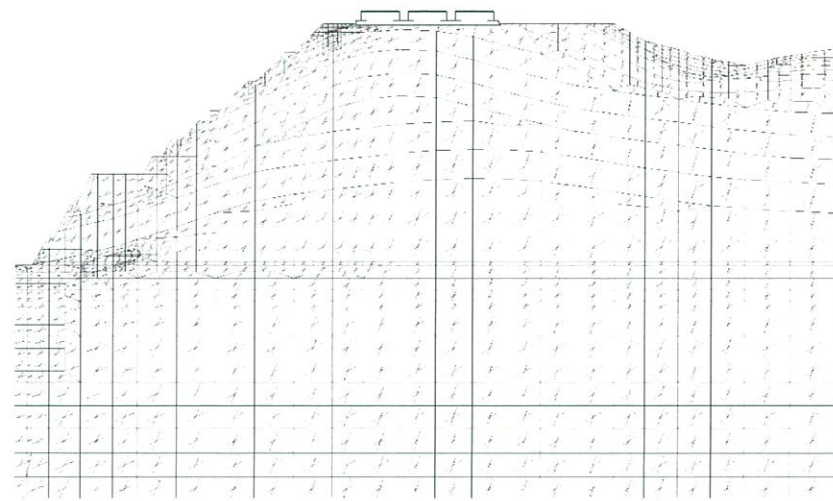
- 凡例
- : 引張応力が発生した要素
 - : せん断強度に達した要素
 - : 引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素
 - : $1.0 \leq$ 局所安全係数 < 1.5
 - : $1.5 \leq$ 局所安全係数 < 2.0
 - : $2.0 \leq$ 局所安全係数



局所安全係数図



主応力図

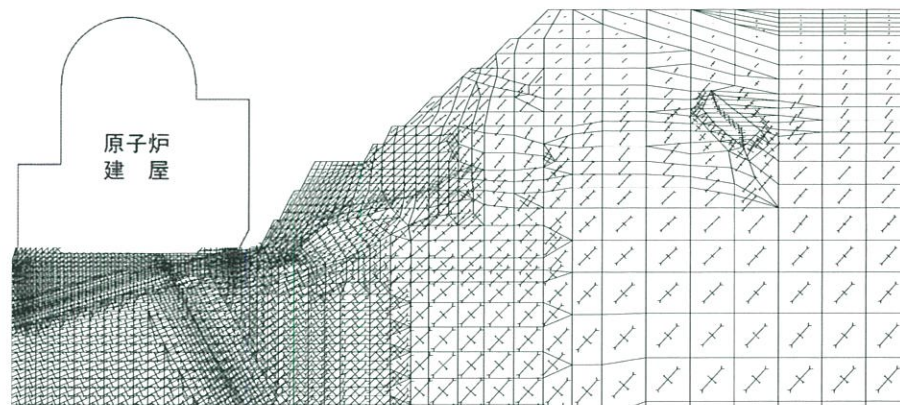
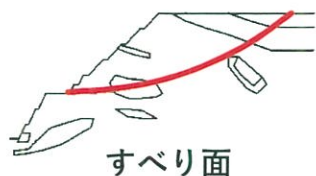


モビライズド面

要素ごとの局所安全係数

④ X-X'断面(原子炉建屋周辺斜面)

基準地震動：Ss-1 (+, -), 時刻：43.75秒, すべり安全率：1.3

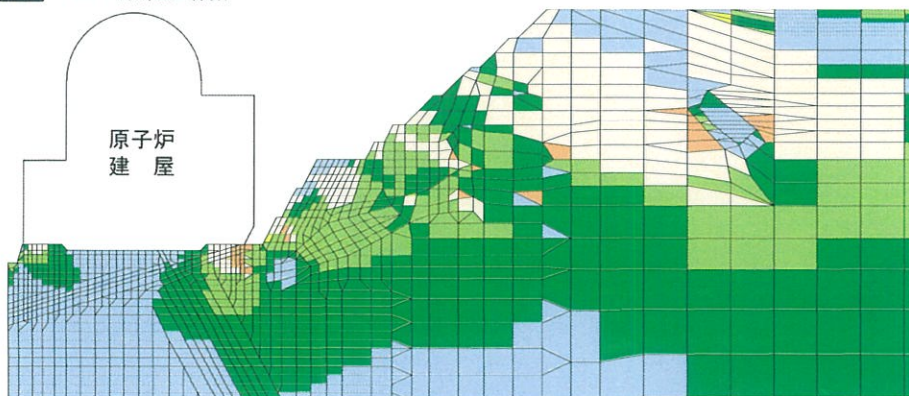


主応力図

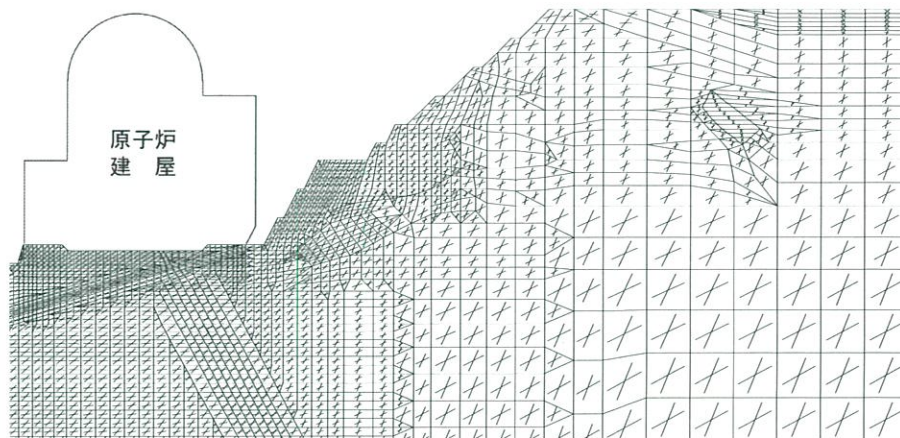
凡例 主応力 \rightarrow
5,000 kN/m²

凡例

- : 引張応力が発生した要素
- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素
- : $1.0 \leq$ 局所安全係数 < 1.5
- : $1.5 \leq$ 局所安全係数 < 2.0
- : $2.0 \leq$ 局所安全係数



局所安全係数図

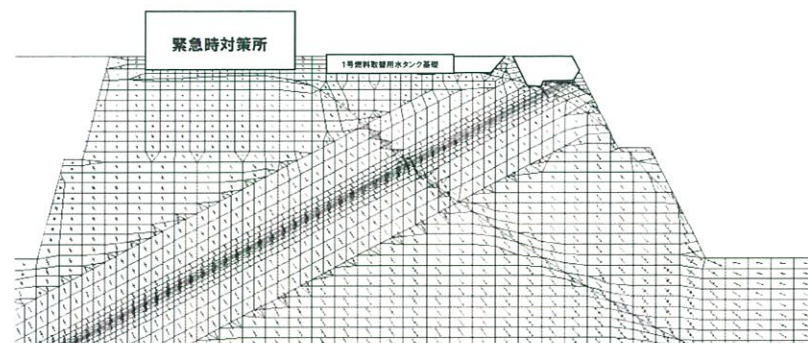
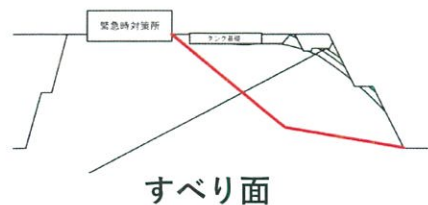


モビライズド面

要素ごとの局所安全係数

⑤ C-C'断面(海水ピット周辺斜面)

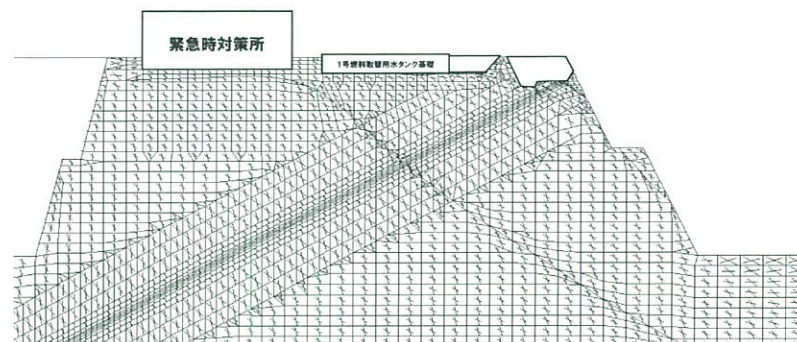
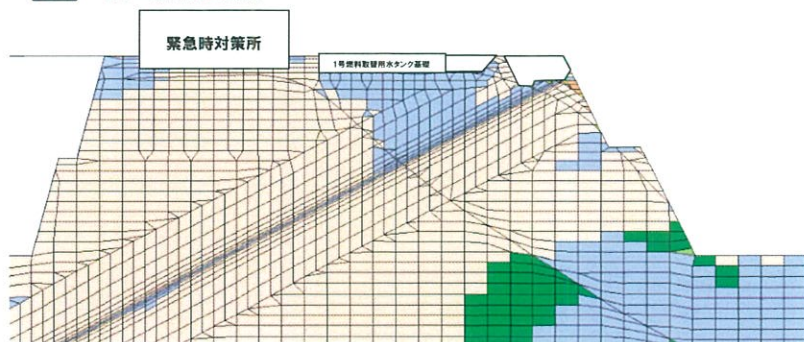
基準地震動：Ss-1(-,-)，時刻：43.73秒，すべり安全率：2.3



凡例 主応力 \rightarrow
5,000 kN/m²

凡例

- : 引張応力が発生した要素
- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素
- : $1.0 \leq$ 局所安全係数 < 1.5
- : $1.5 \leq$ 局所安全係数 < 2.0
- : $2.0 \leq$ 局所安全係数



-
- I 地質の概要に関する補足
 - II 解析用物性値の設定根拠
 - III 原子炉建屋等に関する評価の補足
(地震力に対する安定性評価に関する補足)
 - 1. すべり面設定の考え方
 - 2. 地下水位の設定に関する補足
 - 3. 要素ごとの局所安全係数
 - 4. 計算結果一覧
 - 5. 進行性破壊等についての検討(静的非線形解析)
 - 6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討
 - 7. 原子炉建屋基礎地盤の断面選定に関する補足
 - 8. 海水取水口の通水機能に関する補足
 - (地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価に関する補足)
 - 9. 基準津波以外の場合の地殻変動に関する検討
 - IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足
 - V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

① すべり安全率一覧表

○ X-X'断面(原子炉建屋基礎地盤)



すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
1 タービン建屋 原子炉建屋 基礎底面のすべり面	Ss-1 (+, -)	3.6 [43.73]
2 タービン建屋 原子炉建屋 断層(軟質含)以外のすべり面 (モビリティ上面を考慮したすべり面)	Ss-1 (-, -)	1.8 (2.1) [43.73] (発生時刻: 1.8 単位: 秒)
3 タービン建屋 原子炉建屋 断層(軟質含)以外のすべり面 (タービン建屋を含まない)	Ss-3-1 (+, +)	1.9 [7.44]

すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
4 タービン建屋 原子炉建屋 断層(軟質含)以外のすべり面 (タービン建屋を含む)	Ss-1 (+, -)	2.6 [35.30]
5 タービン建屋 原子炉建屋 断層(軟質含)及び断層(軟質無)以外のすべり面	Ss-1 (-, -)	2.5 [43.73]

※ 基準地震動の(+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]	
Ss-1	(+, +)	2.4 [35.30]
	(-, +)	2.1 [43.73]
	(+, -)	2.1 [35.30]
	(-, -)	1.8 [43.73]
Ss-2-1	3.1 [57.97]	
Ss-2-2	4.8 [8.82]	
Ss-2-3	4.9 [9.90]	
Ss-2-4	4.6 [56.76]	
Ss-2-5	4.4 [9.08]	
Ss-2-6	6.3 [136.76]	
Ss-2-7	4.7 [9.08]	
Ss-2-8	4.6 [10.13]	
Ss-3-1	(+, +)	2.5 [7.45]
	(-, +)	3.1 [7.44]
Ss-3-2NS	(+, +)	2.5 [24.93]
	(-, +)	3.2 [24.34]
Ss-3-2EW	(+, +)	3.5 [25.90]
	(-, +)	2.8 [24.38]
Ss-3-3	(+, +)	3.2 [10.10]
	(-, +)	2.2 [10.10]
	(+, -)	3.3 [10.10]
	(-, -)	2.4 [10.10]

① すべり安全率一覧表

○ A-A'断面(緊急時対策所基礎地盤)



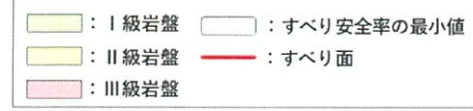
すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
緊急時対策所 基礎地盤のすべり面	Ss-1 (+, -)	16.9 [43.72]	モビライスト面及び要素安全率が低い領域を考慮したすべり面(断層~断層)	Ss-1 (+, +)	2.1 [43.73]
懸垂法によるすべり面	Ss-1 (+, +)	2.7 [43.73]	モビライスト面及び要素安全率が低い領域を考慮したすべり面(岩盤~断層)	Ss-1 (+, +)	3.5 [43.73]
モビライスト面及び要素安全率が低い領域を考慮したすべり面(断層~岩盤)	Ss-1 (+, -)	3.0 [43.73]	モビライスト面を考慮したすべり面(岩盤)	Ss-1 (+, -)	2.6 [43.73]

※ 基準地震動の(+,+)は位相反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]	
Ss-1	(+, +)	2.1 [43.73]
	(-, +)	2.5 [55.60]
	(+, -)	2.2 [43.73]
	(-, -)	2.5 [43.73]
Ss-2-1	3.1 [57.98]	
Ss-2-2	4.7 [13.41]	
Ss-2-3	4.7 [10.06]	
Ss-2-4	4.2 [56.95]	
Ss-2-5	4.7 [11.74]	
Ss-2-6	4.6 [144.85]	
Ss-2-7	4.6 [9.09]	
Ss-2-8	3.2 [10.15]	
Ss-3-1	(+, +)	4.1 [7.30]
	(-, +)	3.0 [7.47]
Ss-3-2NS	(+, +)	3.3 [24.35]
	(-, +)	2.9 [24.95]
Ss-3-2EW	(+, +)	3.5 [24.38]
	(-, +)	2.8 [24.83]
Ss-3-3	(+, +)	2.4 [10.10]
	(-, +)	3.0 [10.11]
	(+, -)	2.5 [10.10]
	(-, -)	3.1 [10.11]

① すべり安全率一覧表

○ D-D'断面(重油タンク基礎地盤)



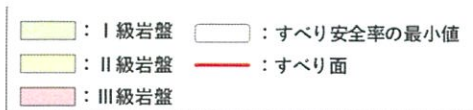
	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]		すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
1	 基礎底面のすべり面	Ss-1 (-, -)	8.1 [43.75]	4	 要素安全率が低い領域を考慮したすべり面	Ss-3-2 EW (+, +)	2.7 [25.94]
2	 凹凸によるすべり面	Ss-1 (+, -)	2.0 [43.74]	5	 モヒリスド面を考慮したすべり面	Ss-3-1 (-, +)	2.3 [7.50]
3	 要素安全率が低い領域を考慮したすべり面	Ss-1 (+, -)	2.2 [43.75]	6	 モヒリスド面を考慮したすべり面	Ss-3-3 (-, +)	3.4 [10.12]

※ 基準地震動の(+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-1	(+, +) 2.2 [43.74]
	(-, +) 2.6 [55.60]
	(+, -) 2.0 [43.74]
	(-, -) 2.7 [55.60]
Ss-2-1	3.5 [57.41]
Ss-2-2	3.5 [11.45]
Ss-2-3	3.7 [10.35]
Ss-2-4	3.5 [57.41]
Ss-2-5	3.6 [11.74]
Ss-2-6	3.7 [140.37]
Ss-2-7	3.7 [11.74]
Ss-2-8	2.9 [10.16]
Ss-3-1	(+, +) 2.7 [7.29]
	(-, +) 2.1 [7.50]
Ss-3-2NS	(+, +) 2.9 [24.36]
	(-, +) 2.4 [24.94]
Ss-3-2EW	(+, +) 2.9 [24.37]
	(-, +) 2.7 [25.94]
Ss-3-3	(+, +) 2.5 [10.12]
	(-, +) 3.2 [5.37]
	(+, -) 2.5 [10.11]
	(-, -) 3.1 [14.35]

① すべり安全率一覧表

○ X-X'断面(原子炉建屋周辺斜面)



すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
 モビライズド面を考慮したすべり面	Ss-1 (+,-)	4.0 [55.63]
 モビライズド面を考慮したすべり面	Ss-1 (+,-)	2.1 [43.74]
 低安全率領域を考慮したすべり面	Ss-1 (+,-)	1.3 (1.3) [43.75] (発生時刻: 13)

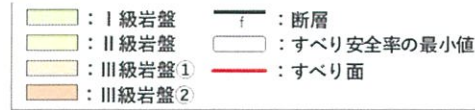
すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
 簡便法によるすべり面	Ss-3-1 (-,+)	1.7 [7.50]
 簡便法によるすべり面	Ss-3-1 (-,+)	1.7 [7.50]

※ 基準地震動の(+,+)は位相反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]	
Ss-1	(+,+)	1.5 [43.75]
	(-,+)	2.5 [55.62]
	(+,-)	1.3 [43.75]
	(-,-)	1.9 [55.62]
Ss-2-1	3.3 [57.09]	
Ss-2-2	3.7 [11.61]	
Ss-2-3	3.7 [10.95]	
Ss-2-4	3.3 [57.42]	
Ss-2-5	3.7 [11.76]	
Ss-2-6	3.4 [144.78]	
Ss-2-7	3.8 [9.17]	
Ss-2-8	2.3 [10.17]	
Ss-3-1	(+,+)	2.6 [7.30]
	(-,+)	1.7 [7.51]
Ss-3-2NS	(+,+)	2.8 [24.37]
	(-,+)	2.2 [24.95]
Ss-3-2EW	(+,+)	2.8 [24.39]
	(-,+)	2.3 [25.40]
Ss-3-3	(+,+)	1.8 [10.13]
	(-,+)	2.9 [10.41]
	(+,-)	1.8 [10.13]
	(-,-)	2.9 [16.96]

① すべり安全率一覧表

○ C-C'断面(海水ピット周辺斜面)



すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率 [発生時刻(秒)]
<p>簡便法によるすべり面</p>	Ss-1 (-,-)	2.6 [43.73]	<p>要素安全率が低い領域を考慮したすべり面</p>	Ss-1 (-,-)	2.6 [43.73]
<p>趾周部のすべり面</p>	Ss-1 (-,-)	3.1 [43.73]	<p>モヒリスミス面を考慮したすべり面</p>	Ss-1 (-,-)	2.3 [43.73]
<p>断層出しのすべり面</p>	Ss-1 (-,-)	4.6 [43.73]			

※ 基準地震動の(+,+)は位相反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]	
Ss-1	(+,+)	4.1 [51.67]
	(-,+)	2.9 [31.37]
	(+,-)	3.6 [55.60]
	(-,-)	2.3 [43.73]
Ss-2-1	5.8 [57.07]	
Ss-2-2	5.0 [8.68]	
Ss-2-3	5.0 [10.31]	
Ss-2-4	4.7 [57.83]	
Ss-2-5	5.4 [9.33]	
Ss-2-6	6.2 [139.60]	
Ss-2-7	5.0 [9.33]	
Ss-2-8	5.0 [8.68]	
Ss-3-1	(+,+)	3.0 [7.46]
	(-,+)	5.1 [7.28]
Ss-3-2NS	(+,+)	4.9 [24.95]
	(-,+)	5.2 [25.34]
Ss-3-2EW	(+,+)	4.2 [25.92]
	(-,+)	4.7 [24.39]
Ss-3-3	(+,+)	4.6 [14.74]
	(-,+)	3.3 [10.10]
	(+,-)	4.8 [14.35]
	(-,-)	4.1 [10.11]

② 最大接地圧一覧表

基準地震動		最大接地圧 (N/mm ²) [発生時刻(秒)]		
		原子炉建屋(X-X'断面)	緊急時対策所(A-A'断面)	重油タンク(D-D'断面)
Ss-1	(+,+)	1.71 [21.68]	0.232 [51.77]	0.23 [51.78]
	(-,+)	2.15 [43.74]	0.22 [38.24]	0.23 [32.79]
	(+,-)	1.81 [52.90]	0.22 [31.37]	0.23 [32.57]
	(-,-)	1.99 [43.75]	0.22 [51.67]	0.24 [33.74]
Ss-2-1		1.41 [58.00]	0.20 [57.53]	0.19 [56.97]
Ss-2-2		1.50 [8.85]	0.19 [8.86]	0.18 [11.21]
Ss-2-3		1.32 [10.14]	0.19 [10.43]	0.19 [10.02]
Ss-2-4		1.68 [56.75]	0.229 [58.01]	0.21 [57.95]
Ss-2-5		1.32 [12.58]	0.20 [9.12]	0.19 [10.41]
Ss-2-6		1.27 [140.14]	0.19 [143.87]	0.18 [139.73]
Ss-2-7		1.38 [9.42]	0.20 [9.12]	0.19 [10.41]
Ss-2-8		1.35 [13.17]	0.19 [10.28]	0.18 [12.80]
Ss-3-1	(+,+)	1.61 [7.47]	0.19 [7.61]	0.20 [7.62]
	(-,+)	1.77 [7.41]	0.21 [7.59]	0.21 [7.60]
Ss-3-2NS	(+,+)	1.45 [24.93]	0.22 [26.47]	0.22 [25.68]
	(-,+)	1.62 [24.35]	0.232 [25.69]	0.23 [25.71]
Ss-3-2EW	(+,+)	1.44 [25.40]	0.230 [25.69]	0.22 [25.70]
	(-,+)	1.59 [24.81]	0.22 [25.85]	0.22 [25.68]
Ss-3-3	(+,+)	1.68 [10.41]	0.233 [12.36]	0.21 [11.26]
	(-,+)	1.77 [10.13]	0.22 [11.28]	0.21 [11.29]
	(+,-)	1.76 [10.41]	0.22 [10.10]	0.23 [13.84]
	(-,-)	1.68 [10.13]	0.232 [14.74]	0.21 [13.86]

※ 基準地震動の(+,+)は位相反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

③ 最大相対変位・最大傾斜一覧表

基準地震動		原子炉建屋(X-X'断面) (L=76.4m)		緊急時対策所(A-A'断面) (L=16.3m)		重油タンク(D-D'断面) (L=50.2m)	
		最大相対変位量(cm) [発生時刻(秒)]	最大傾斜	最大相対変位量(cm) [発生時刻(秒)]	最大傾斜	最大相対変位量(cm) [発生時刻(秒)]	最大傾斜
Ss-1	(+,+)	0.25 [51.74]	1/29,000	0.028 [36.45]	1/58,000	0.09 [24.84]	1/54,000
	(-,+)	0.18 [51.69]	1/41,000	0.030 [43.75]	1/54,000	0.14 [51.72]	1/35,000
	(+,-)	0.18 [51.69]	1/41,000	0.030 [43.75]	1/54,000	0.14 [51.72]	1/35,000
	(-,-)	0.25 [51.74]	1/29,000	0.028 [36.45]	1/58,000	0.09 [24.84]	1/54,000
Ss-2-1		0.12 [57.25]	1/63,000	0.02 [57.99]	1/81,000	0.10 [58.02]	1/51,000
Ss-2-2		0.11 [9.01]	1/71,000	0.01 [8.84]	1/114,000	0.07 [8.88]	1/70,000
Ss-2-3		0.09 [10.03]	1/85,000	0.02 [10.07]	1/105,000	0.07 [9.96]	1/76,000
Ss-2-4		0.15 [57.26]	1/50,000	0.02 [57.99]	1/79,000	0.07 [56.22]	1/67,000
Ss-2-5		0.09 [9.16]	1/83,000	0.02 [12.63]	1/97,000	0.06 [12.60]	1/79,000
Ss-2-6		0.10 [137.52]	1/76,000	0.01 [140.74]	1/120,000	0.07 [140.10]	1/72,000
Ss-2-7		0.08 [12.48]	1/96,000	0.01 [12.63]	1/110,000	0.06 [9.13]	1/86,000
Ss-2-8		0.07 [11.24]	1/115,000	0.02 [10.18]	1/77,000	0.07 [8.63]	1/70,000
Ss-3-1	(+,+)	0.09 [7.51]	1/84,000	0.02 [7.49]	1/81,000	0.11 [7.63]	1/47,000
	(-,+)	0.10 [7.51]	1/75,000	0.02 [7.45]	1/80,000	0.08 [7.57]	1/63,000
Ss-3-2NS	(+,+)	0.13 [24.76]	1/56,000	0.02 [24.72]	1/83,000	0.08 [24.99]	1/64,000
	(-,+)	0.09 [25.78]	1/87,000	0.02 [25.27]	1/76,000	0.10 [24.99]	1/52,000
Ss-3-2EW	(+,+)	0.11 [24.63]	1/67,000	0.025 [24.86]	1/64,000	0.08 [25.96]	1/61,000
	(-,+)	0.11 [25.63]	1/70,000	0.02 [24.73]	1/81,000	0.08 [24.44]	1/64,000
Ss-3-3	(+,+)	0.12 [14.42]	1/62,000	0.02 [14.37]	1/81,000	0.10 [10.15]	1/49,000
	(-,+)	0.12 [11.37]	1/64,000	0.02 [10.14]	1/88,000	0.08 [10.15]	1/61,000
	(+,-)	0.12 [11.37]	1/64,000	0.02 [10.14]	1/88,000	0.08 [10.15]	1/61,000
	(-,-)	0.12 [14.42]	1/62,000	0.02 [14.37]	1/81,000	0.10 [10.15]	1/49,000

※ 基準地震動の(+,+)は位相反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

I 地質の概要に関する補足

II 解析用物性値の設定根拠

III 原子炉建屋等に関する評価の補足

(地震力に対する安定性評価に関する補足)

1. すべり面設定の考え方

2. 地下水位の設定に関する補足

3. 要素ごとの局所安全係数

4. 計算結果一覧

5. 進行性破壊等についての検討(静的非線形解析)

6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討

7. 原子炉建屋基礎地盤の断面選定に関する補足

8. 海水取水口の通水機能に関する補足

(地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価に関する補足)

9. 基準津波以外の場合の地殻変動に関する検討

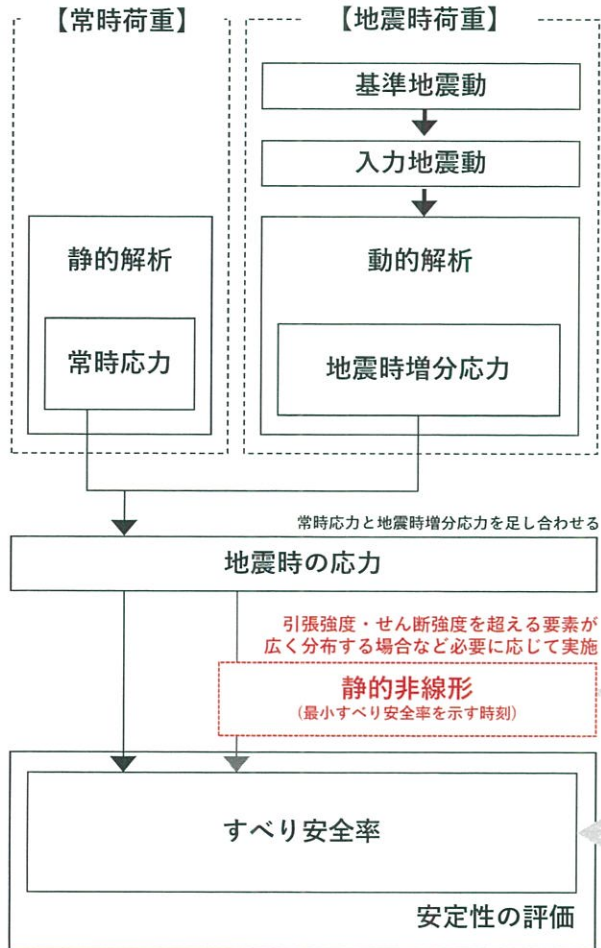
IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足

V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

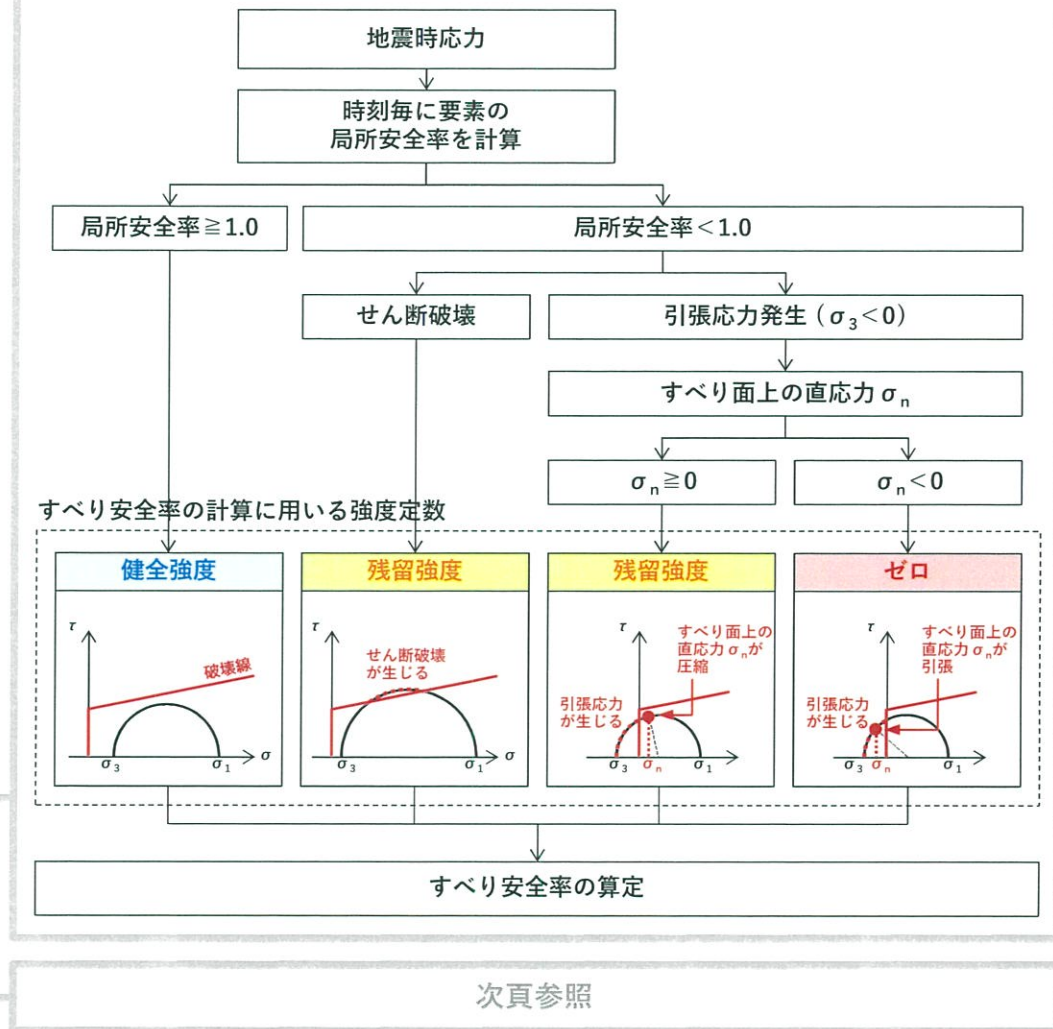
静的非線形解析(全体フロー)

○ 静的非線形を含めた安定性評価の全体フローは下図のとおりである。

【安定性評価の全体フロー(すべり安全率)】

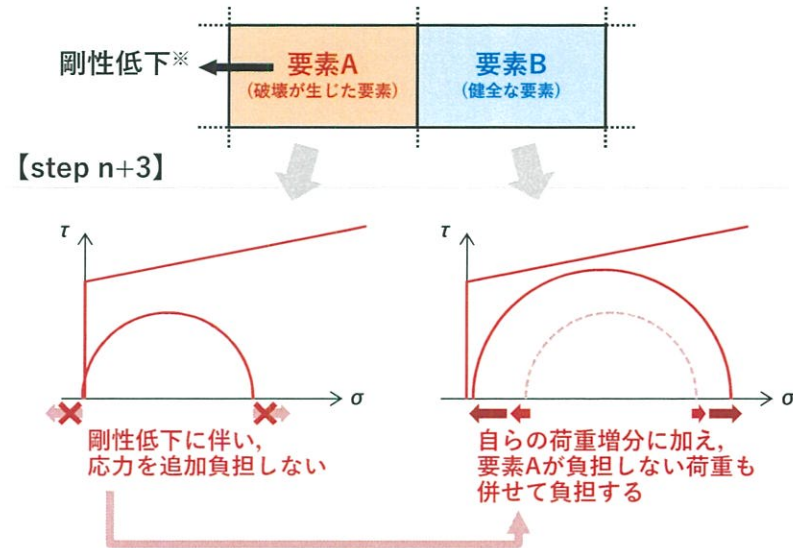
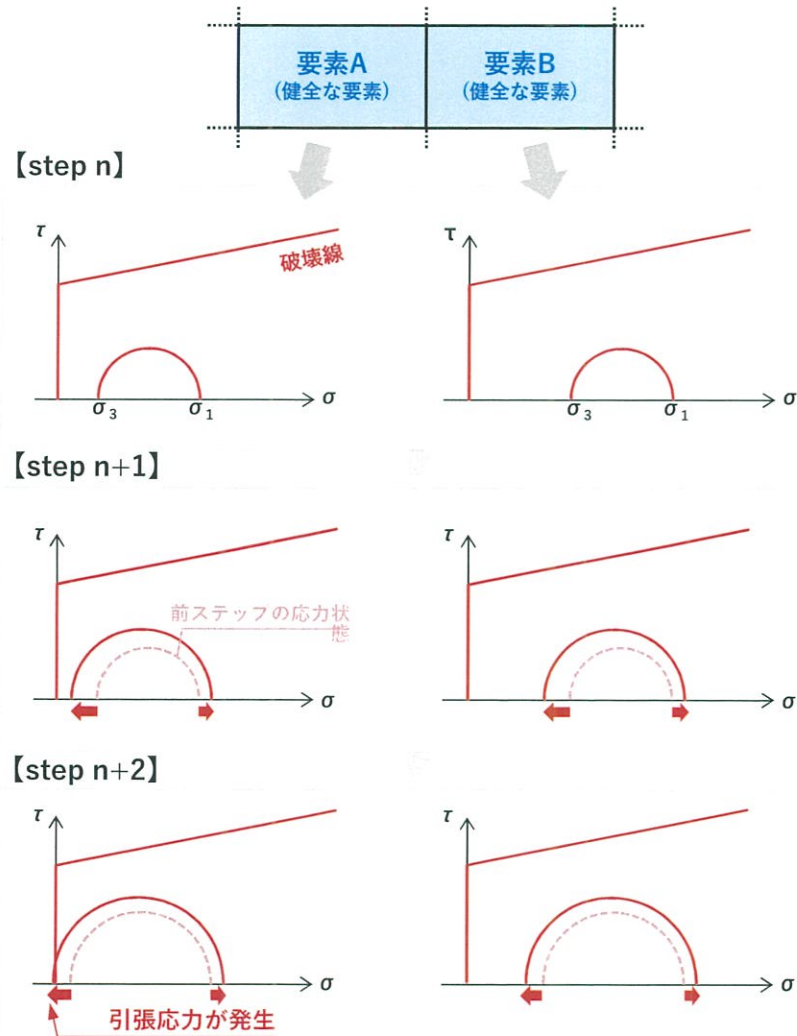


【すべり安全率の算定に用いる強度定数の考え方】



静的非線形解析(全体フロー)

○ 静的非線形解析は、荷重増分法により実施し、各荷重段階で、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素の弾性係数・せん断弾性係数を低下させ、全荷重段階まで増加させることにより、最終的な応力状態を求める。



○ 同様のステップを繰り返し、全荷重まで増加させることにより、最終的な応力状態を求め、その応力状態をもとにすべり安全率を算出する。

※ 剛性低下の設定

- 引張応力が発生した要素の物性低下条件
 - $E_1 = E_0$
 - $E_2 = E_0 / 1000$
 - $\nu_1 = \nu_2 = 0$
 - $G = G_0 / 1000$
- せん断強度に達した要素の物性低下条件
 - $E_1 = E_2 = E_0 / 1000$
 - $\nu_1 = \nu_2 = 0$
 - $G = G_0 / 1000$

静的非線形解析

- 審査ガイドに基づき、局所的な岩盤等の破壊がすべり安全率に顕著な影響を与えないことを確認するため、次頁以降のとおり、静的非線形解析を実施した。

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド(原子力規制委員会, 2013)抜粋

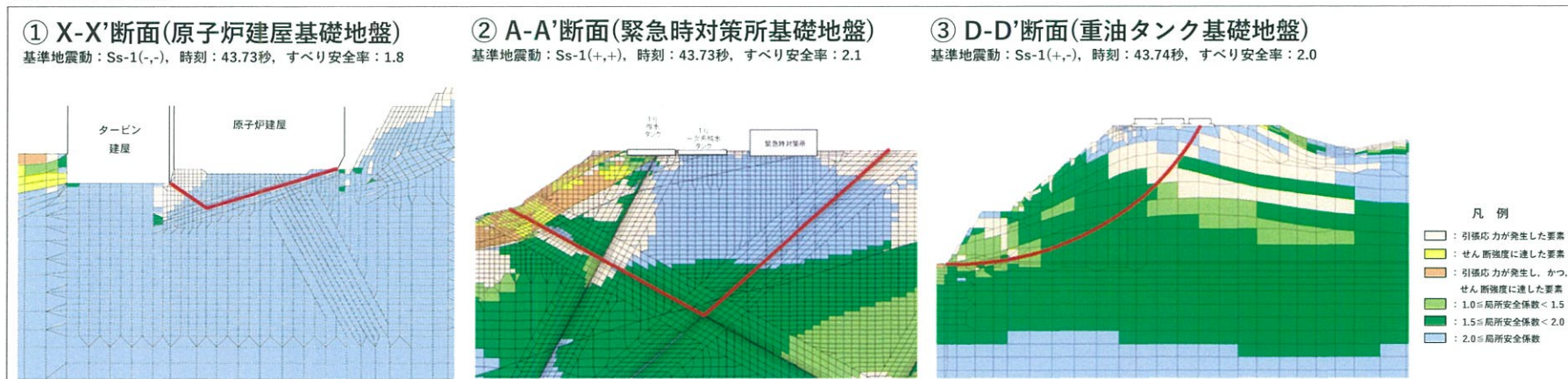
- ・弱層等における応力の発生状況等から、破壊要素が局所的に集中する等の結果が得られ、周辺への進行性破壊等についての検討が必要と考えられる場合は、静的非線形解析等により検討を行っていることを確認する。

静的非線形解析

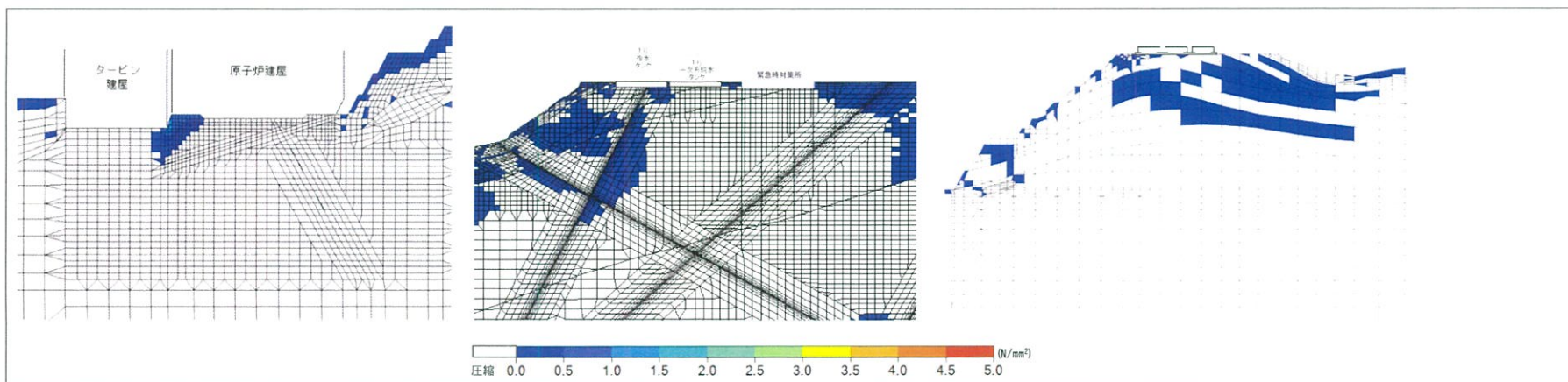
(1) 発生する**最大引張応力**は、①X-X'断面で 1.4N/mm^2 以下、②A-A'断面で 0.7N/mm^2 以下、③D-D'断面で 1.4N/mm^2 以下、④X-X'断面で 1.2N/mm^2 以下、⑤C-C'断面で 0.6N/mm^2 以下と小さく、いずれもCH級岩盤の引張強度(3.4N/mm^2)※以下であることから、安定性評価に影響をおよぼすものではないと考えられる。

※ 設置変更許可申請書(3号炉増設時)における引張強度(35kg/cm^2)をSI単位系に変換

【基礎地盤】



局所安全係数図(基礎地盤)

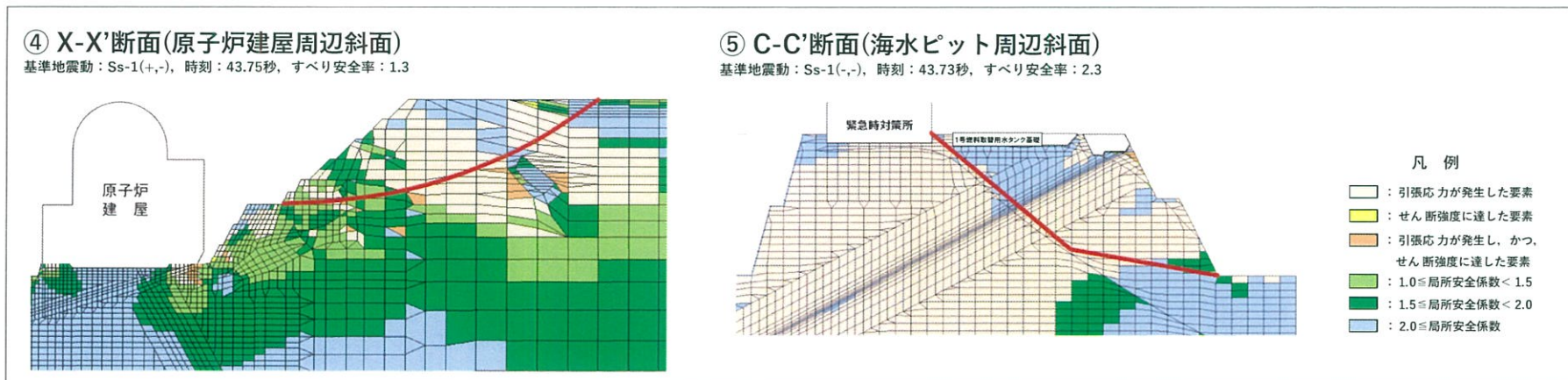


最大引張応力図(基礎地盤)

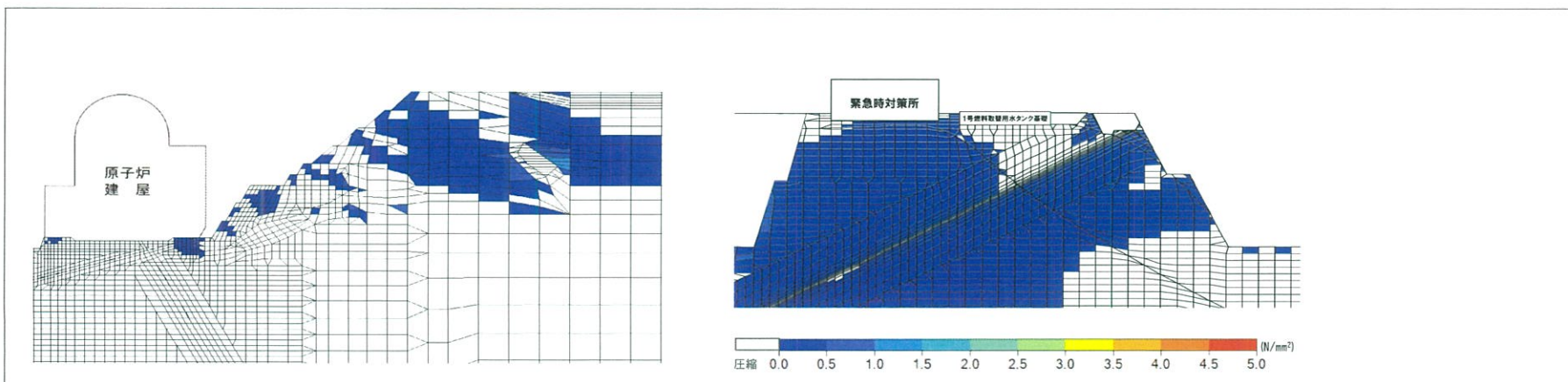
静的非線形解析

(1) 発生する**最大引張応力**は、①X-X'断面で1.4N/mm²以下、②A-A'断面で0.7N/mm²以下、③D-D'断面で1.4N/mm²以下、④X-X'断面で1.2N/mm²以下、⑤C-C'断面で0.6N/mm²以下と小さく、いずれもCH級岩盤の引張強度(3.4N/mm²)※以下であることから、安定性評価に影響をおよぼすものではないと考えられる。

【周辺斜面】



局所安全係数図(周辺斜面)



最大引張応力図(周辺斜面)

静的非線形解析

(2) (1)を踏まえると、審査ガイド記載の“周辺への進行性破壊等についての検討”は不要と考えられるものの、更なる信頼性向上の観点から、静的非線形解析を実施する。

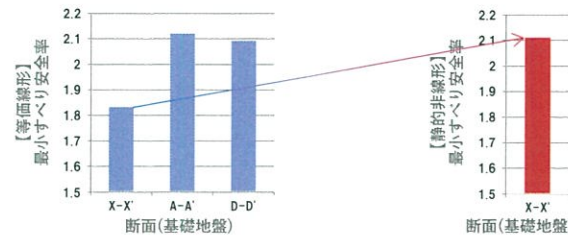
① 基礎地盤

基礎地盤における静的非線形解析については、以下の考え方にに基づき、**X-X'断面**を代表として実施する。

(ア) 要素ごとの局所安全係数について、いずれの断面も、すべり面周囲の岩盤要素に部分的な引張破壊が生じている。引張破壊の分布の程度については有意な差は認められない。

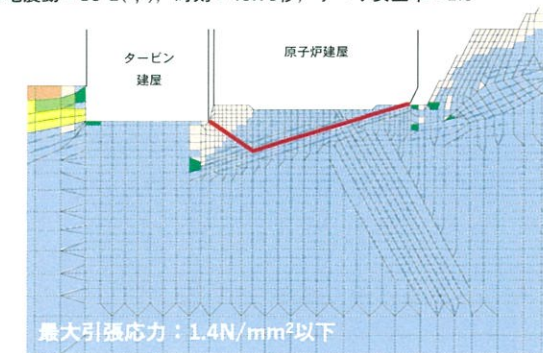
(イ) そこで、**最大引張応力が大きく**、かつ**最小すべり安全率が最も小さい**X-X'断面を代表として、静的非線形解析を実施した。

	基準地震動	【等価線形】 最小すべり安全率 (再掲)	【静的非線形】 最小すべり安全率
X-X'断面(原子炉建屋)	Ss-1(-,-)	1.83	2.11
A-A'断面(緊急時対策所)	Ss-1(+,+)	2.1	
D-D'断面(重油タンク)	Ss-1(+,-)	2.0	



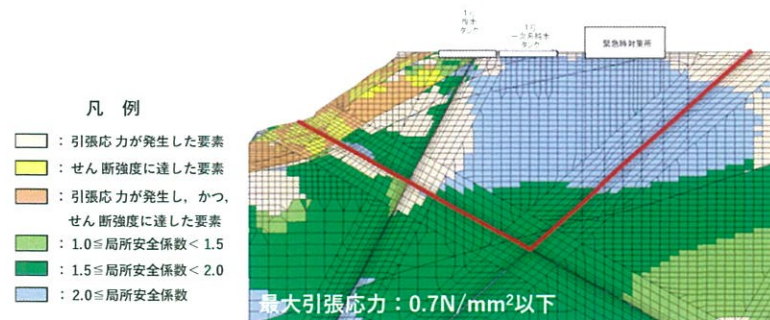
① X-X'断面(原子炉建屋基礎地盤)

基準地震動：Ss-1(-,-)，時刻：43.73秒，すべり安全率：1.8



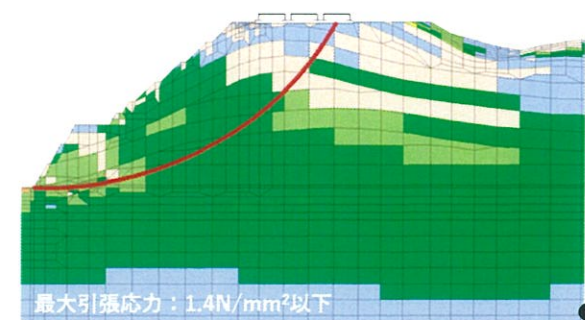
② A-A'断面(緊急時対策所基礎地盤)

基準地震動：Ss-1(+,+)，時刻：43.73秒，すべり安全率：2.1



③ D-D'断面(重油タンク基礎地盤)

基準地震動：Ss-1(+,-)，時刻：43.74秒，すべり安全率：2.0



静的非線形解析

(2) (1)を踏まえると、審査ガイド記載の“周辺への進行性破壊等についての検討”は不要と考えられるものの、更なる信頼性向上の観点から、静的非線形解析を実施する。

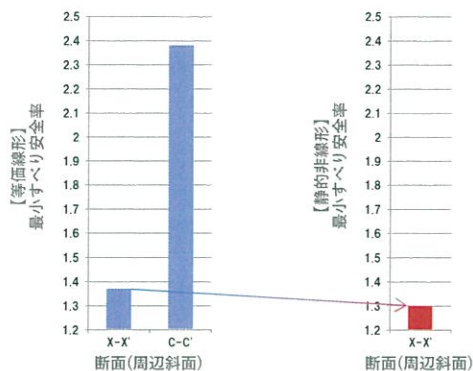
② 周辺斜面

周辺斜面における静的非線形解析については、以下の考え方にに基づき、**X-X'断面**を代表として実施する。

(ア) 要素ごとの局所安全係数について、いずれの断面も、すべり面周囲の岩盤要素に多くの引張破壊が生じており、ややC-C'断面のほうが広範に分布している。

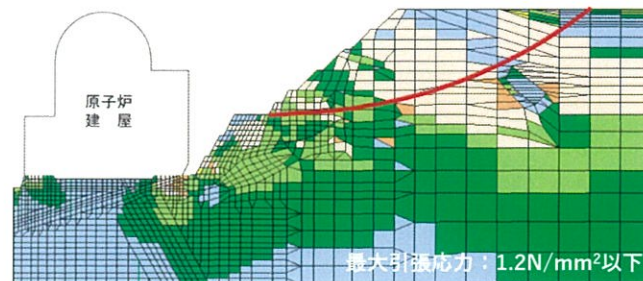
(イ) しかし、**最大引張応力で比較するとX-X'断面のほうが大きいこと**、及び**最小すべり安全率で比較するとX-X'断面のほうが有意に小さいこと**から、X-X'断面を代表として静的非線形解析を実施した。

	基準地震動	【等価線形】 最小すべり安全率 (再掲)	【静的非線形】 最小すべり安全率
X-X'断面	Ss-1(+,-)	1.37	1.30
C-C'断面	Ss-1(-,-)	2.3	



④ X-X'断面(原子炉建屋周辺斜面)

基準地震動：Ss-1(+,-)，時刻：43.75秒，すべり安全率：1.3



⑤ C-C'断面(海水ピット周辺斜面)

基準地震動：Ss-1(-,-)，時刻：43.73秒，すべり安全率：2.3

凡例

- : 引張応力が発生した要素
- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生し、かつ、せん断強度に達した要素
- : 1.0 ≦ 局所安全係数 < 1.5
- : 1.5 ≦ 局所安全係数 < 2.0
- : 2.0 ≦ 局所安全係数

